

Universidade Federal de Santa Catarina

Curso de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial

**A Tecnologia de Medição por Coordenadas na
Solução de Problemas da Indústria: Sistematização
de Informações e do Processo Metrológico do
Laboratório Prestador de Serviços**

Glaucio Andrey Maas

Florianópolis

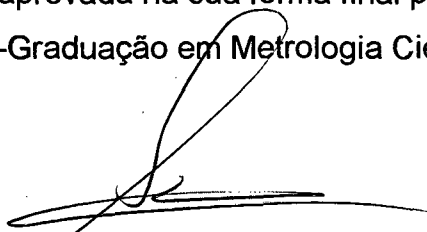
Santa Catarina – Brasil

Março de 2001

**A TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS NA SOLUÇÃO DE
PROBLEMAS DA INDÚSTRIA: SISTEMATIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES E DO
PROCESSO METROLÓGICO DO LABORATÓRIO PRESTADOR DE SERVIÇOS**

GLAUCIO ANDREY MAAS

Esta Dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de
“MESTRE EM METROLOGIA”
e aprovada na sua forma final pelo
Programa de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial

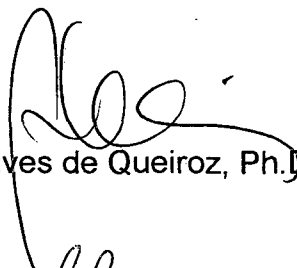


Prof. Carlos Alberto Schneider, Dr. Ing.
Orientador



Prof. Armando Albertazzi Gonçalves Júnior, Dr. Eng.
Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Metrologia Científica e Industrial

BANCA EXAMINADORA:



Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.



André Roberto de Sousa, Dr. Eng.



Armando Albertazzi Gonçalves Júnior, Dr. Eng.

Resumo

O mercado de medição de peças através de máquinas de medir por coordenadas apresenta crescente demanda pela indústria devido à exigência de precisão dimensional de peças, à crescente informatização da cadeia produtiva e à necessidade de adequação a normas de qualidade. A medição de peças de geometria complexa não está envolvida apenas com a tarefa de inspeção de qualidade no processo produtivo, mas está oferecendo cada vez mais suporte para projetos de novos produtos e o próprio controle de processo de fabricação de indústrias de manufatura. Laboratórios de medição por coordenadas prestadores de serviços (laboratórios independentes ou internos à indústria) oferecem qualidade nos serviços de medição de peças, porém enfrentam grande dificuldade para atender as necessidades dos clientes devido à grande diversidade dos serviços e por problemas no fluxo de informações entre o cliente e o laboratório. Existe a necessidade de uma sistemática que contemple agilidade e confiabilidade metrológica na execução do serviço de medição de peças, geralmente fora da prática cotidiana, exigindo conhecimento das características do objeto a medir, referências adequadas para a construção do sistema de coordenado, definição coerente da estratégia de medição, incerteza de medição adequada, entre outros fatores críticos. O casamento entre a adequação desses parâmetros com a minimização dos custos para a execução do serviço são de fundamental importância para a competitividade e qualidade do laboratório executor do serviço.

Palavras-chaves: medição por coordenadas, prestação de serviços, estratégia de medição, máquina de medir por coordenadas, medição de peças

Abstract

The market of workpieces measurement using coordinate measuring machines has increased continuously due to the requirements of dimensional precision of the workpieces to the increasing automation of production and the need to conform to quality norms. The measurement of workpieces with complex geometry is not just a quality inspection task in the production process, but it is also supporting more and more new products and process control. Coordinate measuring laboratories offer quality in the workpieces measurement services, however, they face great difficulty to assist the customers' needs due to the wide service diversity and information flow problems between the customer and the laboratory. There is a need of a systematic approach contemplating agility and metrological reliability in the execution of the workpieces measurement services, generally out of daily practice, demanding knowledge about the characteristics of the objects to be measured, suitable references for the establishment at the coordinate system, definition of a coherent measurement strategy, suitable measurement uncertainty, among other critical factors. The efficient combination of these parameters and costs reduction for the measurement services execution is fundamental for the service laboratory competitiveness and quality.

Keywords: coordinate measuring, installment services, measurement strategy, coordinate measuring machines, workpieces measurement

Zusammenfassung

Der Markt von Werkstückenmessung mit Koordinatenmeßgeräten hat sich stetig zugenommen infolge höher Anforderung von geometrischer Genauigkeit, zunehmende Automatisierung der Produktion und strenge Adaptationbedürfnis zu Qualitätsnormen. Die Messung der Werkstücken mit komplexer Geometrie beziehen sich nicht nur mit der Aufgabe von Qualitätinspektion in der Produktion, aber es unterstützt immer mehr die Projekte von neuen Produkten und die Kontrolle von Fertigprozesse. In Rahmen der Werkstückemessung, bieten die Meßlaboratorien Dienstleistungen unter ausreichende Qualität, sie stehen aber große Schwierigkeiten gegenüber, den Kundenbedürfnissen zu berücksichtigen. Die Verschiedenartigkeit von Meßaufgaben und die ungeignete Informationsaustausch zwischen Kunden und Laboratorium beiträgt wesentlich dazu. Ein planmäßig System ist notwendig, so daß die Behendigkeit und metrologischer Zuverlässigkeit in der nicht täglichen Dienstleistung von Werkstückemessung umgefaßt werden. Unter anderen kritischen Faktoren, das Kenntniss der Werkstückmerkmale, das Vorhandensein von Bezugselementen für die Konstruktion des Werkstückkoordinatensystems, eine kohärente Planung der Meßstrategie, und eine angemessene Meßunsicherheit, berücksichtigt werden sollen. Die gute Kombination von diesen Parametern mit der Reduzierung von den Dienstleistungskosten spielt wesentliche Rolle für die Qualität des Meßlaboratoriums.

Stichworten: Koordinatemeßtechnik, Dienstleistung, Meßstrategie,
Koordinatenmeßgeräten

Aos meus pais,
Marlise e Ralf Maas.

Agradecimentos

Ao professor Carlos Alberto Schneider, pela orientação e pelo apoio dado na elaboração desse trabalho.

Aos colaboradores do Centro de Metrologia e Inovação em Processos da Fundação CERTI, pela excelente contribuição e troca de informações.

A todos os colegas do Labmetro/Pós-MCI, que proporcionaram discussões importantes no desenvolvimento desse trabalho.

Ao Sr. Rudolph Scherer, cuja experiência vivida na área de Qualidade em setor automobilístico europeu contribuiu de forma singular nesse trabalho.

À minha família, em especial aos meus pais, pelo incentivo e pelas oportunidades a mim proporcionadas.

Sumário

APROVAÇÃO	I
RESUMO	II
ABSTRACT	III
ZUSAMMENFASSUNG	IV
SUMÁRIO	VII
LISTA DE ABREVIATURAS	X
 1.A TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS COMO PARTE INTEGRANTE DO SISTEMA DE QUALIDADE INDUSTRIAL	 1
1.1 DEMANDA DO MEIO INDUSTRIAL POR ASSISTÊNCIA METROLÓGICA DE TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS PARA GARANTIA DA QUALIDADE.....	2
1.1.1 A tecnologia de medição por coordenadas inserida no contexto de desenvolvimento de produtos	3
1.1.2 Tecnologia de medição por coordenadas no processo produtivo.....	5
1.1.3 Agilidade e confiabilidade no controle dimensional de peças	6
1.2 PANORAMA DA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE UM LABORATÓRIO PRESTADOR DE SERVIÇOS EM MEDIÇÃO POR COORDENADAS.....	6
1.2.1 Caracterização do problema da prestação de serviços em medição por coordenadas	7
1.3 DESENVOLVIMENTO DE UMA SISTEMÁTICA DE TRABALHO PARA LABORATÓRIO PRESTADOR DE SERVIÇOS	8

2. OPORTUNIDADES E DESAFIOS DE UM LABORATÓRIO DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS PARA A INDÚSTRIA	9
2.1 PORTFÓLIO DE SERVIÇOS	10
2.1.1 Serviços de Medição 3D	10
2.1.2 Calibração de instrumentos de medição	16
2.1.3 Calibração de medidas materializadas	16
2.1.4 Calibração de máquinas de medir por coordenadas	17
2.1.5 Assessorias	19
2.2 DIFERENCIAÇÃO ENTRE SERVIÇOS DE MEDIÇÃO, CALIBRAÇÃO E ASSESSORIA	20
2.3 CAUSAS DE FALHAS NA PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS	22
2.3.1 Cliente	23
2.3.2 Objeto a medir (OM)	24
2.3.3 Desenho fornecido	25
2.3.4 Metrologista	25
2.3.5 Máquina de medir por coordenadas	26
2.3.6 Administrativos	27
2.4 A QUALIDADE DOS SERVIÇOS	28
2.4.1 Compreensão das necessidades do cliente	29
2.4.2 Vantagem competitiva	30
3. CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONTROLE GEOMÉTRICO DE PEÇAS COM O USO DA TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO POR CORDENADAS	31
3.1 ASPECTOS CRÍTICOS NO CONTROLE GEOMÉTRICO DE PEÇAS	32
3.1.1 Metrologista	34
3.1.2 Máquina de medir por coordenadas	35
3.1.3 Ambiente	35
3.1.4 Objeto a medir	36
3.1.5 Estratégia de medição	38
3.1.6 Fixação do objeto a medir	38
3.2 PLANEJAMENTO DA TAREFA DE MEDIÇÃO	40
3.2.1 Análise do objeto a medir e do processo de fabricação	41
3.2.2 Plano de medição	43
3.2.3 Estabelecimento da estratégia de medição	45
3.2.4 Relatório de medição	47

3.3 RECURSOS TECNOLÓGICOS.....	50
3.3.1 Softwares de medição e interfaces gráficas	50
3.3.2 Integração com a manufatura e a inspeção.....	51
3.4 BENEFÍCIOS ECONÔMICOS	52
4. PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES E DAS ATIVIDADES NOS SERVIÇOS DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS	54
4.1 SISTEMÁTICA DE TRABALHO EM LABORATÓRIO PRESTADOR DE SERVIÇOS.....	55
4.2 A IMPORTÂNCIA DA INFORMAÇÃO	57
4.3 PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE MEDIÇÃO.....	57
4.4 MODULARIZAÇÃO DA SISTEMÁTICA DE TRABALHO.....	59
4.5 O FLUXO DE INFORMAÇÕES	62
4.5.1 Captação de informações junto ao cliente.....	63
4.5.2 Orçamentação e elaboração da proposta	64
4.5.3 Preparação e execução do serviço	69
4.5.4 Análise e apresentação dos resultados.....	69
5. CONSOLIDAÇÃO PRÁTICA DA SISTEMÁTICA	72
5.1 APRESENTAÇÃO DOS OBJETOS MEDIDOS SEGUNDO A METODOLOGIA	73
5.1.1 Cabeçote de Extrusão Plástica	73
5.1.2 Dispositivo de controle de assentos de automóveis	74
5.1.3 Carcaça de motor elétrico	75
5.1.4 Chapa estampada.....	76
5.1.5 Braço de calibração de dinamômetro.....	77
5.1.6 Pannel de caixa eletrônico	78
5.2 ANÁLISE DA FASE: CAPTAÇÃO DE INFORMAÇÕES JUNTO AO CLIENTE.....	79
5.3 ANÁLISE DA FASE: ORÇAMENTAÇÃO E ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE SERVIÇO	81
5.4 ANÁLISE DA FASE: PREPARAÇÃO E EXECUÇÃO DO SERVIÇO	83
5.5 ANÁLISE DA FASE: ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	86
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES	91
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

Lista de Abreviaturas

BI	Base de informações
LMC	Laboratório de Medição por Coordenadas
LPS	Laboratório Prestador de Serviços
MF	Máquina ferramenta
MMC	Máquina de Medir por Coordenadas
OM	Objeto a Medir
TMC	Tecnologia de Medição por Coordenadas

CAPÍTULO 1

A TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS COMO PARTE INTEGRANTE DO SISTEMA DE QUALIDADE INDUSTRIAL

A exigência de precisão geométrica de peças e de produtos, aliada à crescente informatização e automatização dos sistemas de manufatura, vem abrindo espaço cada vez maior para a tecnologia de medição por coordenadas (TMC), aliada ao fato desta ser indispensável para a medição de geometrias complexas. A complexidade dos produtos e a necessidade de adequação aos requisitos de normas de sistemas de qualidade tornam a máquina de medir por coordenadas (MMC) uma ferramenta de fundamental importância para o controle de qualidade de peças, assegurando versatilidade e universalidade na execução das medições.

As MMCs medem características geométricas através da definição de pontos tomados sobre a superfície de um objeto a medir (OM) segundo um sistema coordenado espacial, seguido por processamento matemático. Algoritmos específicos ajustam os pontos tomados em elementos geométricos, possibilitando a representação geométrica do objeto medido. Esse processamento pode ser empregado para inúmeras formas geométricas e, dependendo da capacidade do software de medição da MMC, superfícies livres também podem ser discretizadas em pontos, caracterizando a geometria real do elemento [1], [2]. Esta facilidade de medição de elementos geométricos e superfícies livres torna a MMC indispensável no controle geométrico de peças complexas, geralmente de difícil inspeção por métodos convencionais de medição [3].

A TMC tem se tornado indispensável no meio industrial, pois possibilita integração do controle de qualidade à produção automatizada, automação da medição e flexibilidade de operação. Tal condição faz com que seja empregada não só no controle geométrico de peças ou de componentes mecânicos, mas esteja interagindo fortemente no desenvolvimento de novos produtos, no controle de processos de fabricação e na homologação de ferramentas e de protótipos.

Para suprir essa demanda de serviços em TMC, Laboratórios Prestadores de Serviços (LPS) em medição por coordenadas oferecem um portfólio amplo de serviços para atender as necessidades da indústria. Esses LPSs podem ser laboratórios internos a empresa, localizando-se próximo ao processo produtivo, ou externos a empresa, constituindo-se nos laboratórios independentes.

1.1 DEMANDA DO MEIO INDUSTRIAL POR ASSISTÊNCIA METROLÓGICA DE TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS PARA GARANTIA DA QUALIDADE

O mercado de máquinas de medir por coordenadas (MMC) no Brasil teve crescimento significativo nos últimos anos. Tal crescimento, que chegou a 20% de 1998 para 1999, teve impulso na crescente exigência de inspeção geométrica de componentes mecânicos, crescente informatização da cadeia produtiva e da necessidade de adequação às normas de sistemas de qualidade pelas indústrias de manufatura [4].

O controle geométrico e o controle do processo de fabricação através de medições também apresentam uma demanda a ser suprida, principalmente em situações que envolvam produtos com geometria complexa para os quais a indústria, geralmente pequena e média empresa, não disponibiliza condições economicamente viáveis para adquirir uma MMC.

Para realizar o controle geométrico em TMC, é importante salientar que a eficiência das inspeções está relacionada com um bom planejamento do plano de controle. Um plano de controle eficiente deve contemplar informações oriundas do projeto, do chão de fábrica e do controle de qualidade, tornando o resultado confiável para a tomada de decisões e ações. Aliado ao plano de controle está o estabelecimento da estratégia de medição, que tem papel importante na obtenção dos dados da

inspeção por MMC [5].

Os resultados de medição necessitam de rastreabilidade a padrões de referência para se poder comparar resultados e tomar ações confiáveis de correção sobre o processo de fabricação. Para garantir a rastreabilidade das medições em MMC, é necessário realizar calibrações periódicas.

É de fundamental importância que o usuário da MMC esteja consciente da necessidade da calibração da máquina. Por outro lado, de pouca valia é um certificado de calibração se o usuário não o utiliza ou não sabe como utilizá-lo corretamente para avaliar as influências e conseqüências da incerteza de medição da MMC sobre o resultado de medição. A avaliação incorreta da incerteza de medição da MMC pode implicar diretamente sobre a classificação errônea de peças como refugos ou desviadas para retrabalho, podendo acarretar em problemas funcionais de peças e conjuntos de componentes, gerando prejuízos ao cliente ao final e conseqüentemente à indústria.

O atendimento a requisitos de normas de sistemas de qualidade e garantia metrológica induz a assistência metrológica, seja através de certificados de calibração, de verificação de dispositivos de controle, de calibração de MMC, de medição de peças com geometria complexa, sendo crescente a demanda por serviços de laboratórios especializados em TMC.

Outro exemplo de demanda de serviços é o auxílio de estruturação de laboratórios de medição por coordenadas na indústria. Adequação segundo a norma ISO 17025, cursos e treinamentos, condições para garantir confiabilidade dos resultados, estabelecimento da estrutura organizacional e seleção de MMC adequada para a estação de trabalho são alguns dos serviços que podem ser prestados.

1.1.1 A tecnologia de medição por coordenadas inserida no contexto de desenvolvimento de produtos

A atuação da TMC no ciclo de qualidade industrial começa desde a fase de planejamento do produto passando pelo desenvolvimento/projeto até a fase de inspeção e controle da produção, como ilustra a figura 1.1 [6].

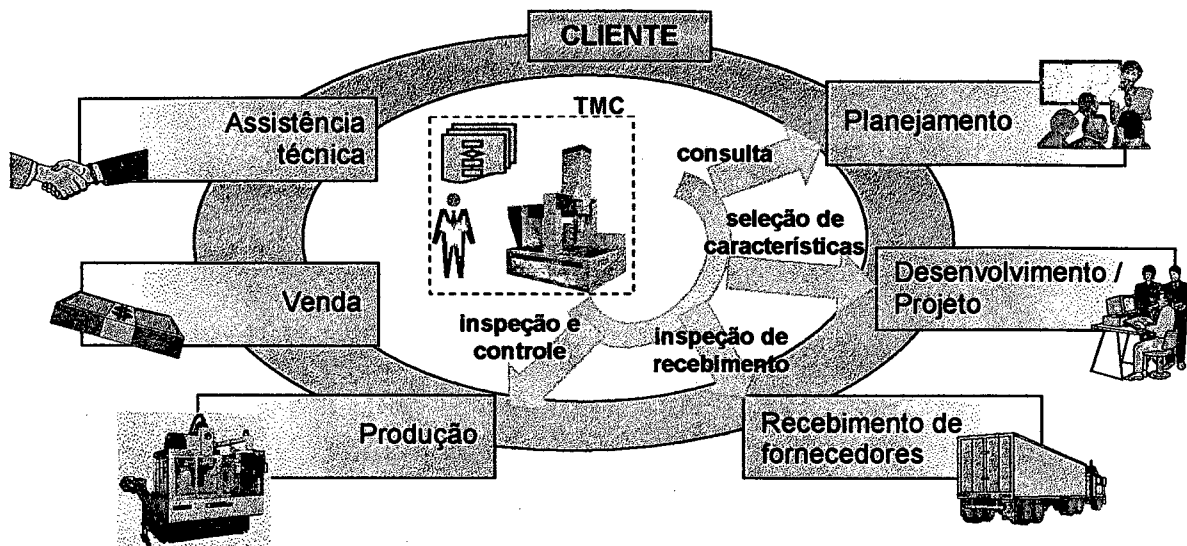


Figura 1.1 - Integração da tecnologia de medição por coordenadas no ciclo de desenvolvimento de um produto com geometria complexa [6]

É cada vez mais evidente a importância da interação entre as áreas de projeto, de processos de fabricação e de metrologia no desenvolvimento de produtos. Desde as fases iniciais do ciclo de desenvolvimento do produto, a comunicação de dados obtidos através da medição/inspeção de produtos do processo de fabricação comparados às especificações de projeto tende a evitar problemas em fases mais adiantadas, reduzindo os custos do produto [6]. As melhorias dessa interface são verificadas em especificações de tolerâncias de acordo com a capacidade do processo de fabricação, na qualidade dos desenhos observada em sistemas de cotação e de referenciamento adequados e na determinação conjunta de características críticas e significativas para inspeção.

No desenvolvimento/projeto do produto atua-se na seleção das características a serem inspecionadas. Em casos mais específicos, há necessidade da determinação de pontos de apoio e de fixação das peças em dispositivos responsáveis pelo seu transporte durante a linha de montagem.

Ferramentas de auxílio são freqüentemente utilizadas nessa fase visando definir e estabelecer diretrizes para assegurar que um produto satisfaça o cliente. Na indústria automotiva encontram-se manuais de referência, como exemplo APQP (Planejamento Avançado da Qualidade do Produto) [7] e PPAP (Processo de Aprovação de Peça de Produção) [8], que apresentam inúmeras dessas ferramentas

de auxílio e orientações para o planejamento do controle de produtos.

1.1.2 Tecnologia de medição por coordenadas no processo produtivo

Um dos aspectos principais da metrologia dimensional nos processos de fabricação é verificar se a peça produzida atende aos requisitos funcionais e geométricos estabelecidos em projeto. Esses requisitos podem ser comprimentos, posição de elementos geométricos, ângulos, entre outros, acompanhados de tolerâncias geométricas. A inspeção de peças com geometria complexa por meio da TMC viabiliza a verificação de características que seriam de difícil execução com outros instrumentos de medição.

Outro aspecto fundamental é determinar os parâmetros de correção da máquina ferramenta para que se possa controlar o processo de fabricação [9], [10]. A figura 1.2 ilustra o controle de peças e do processo produtivo, válido para o uso de TMC.

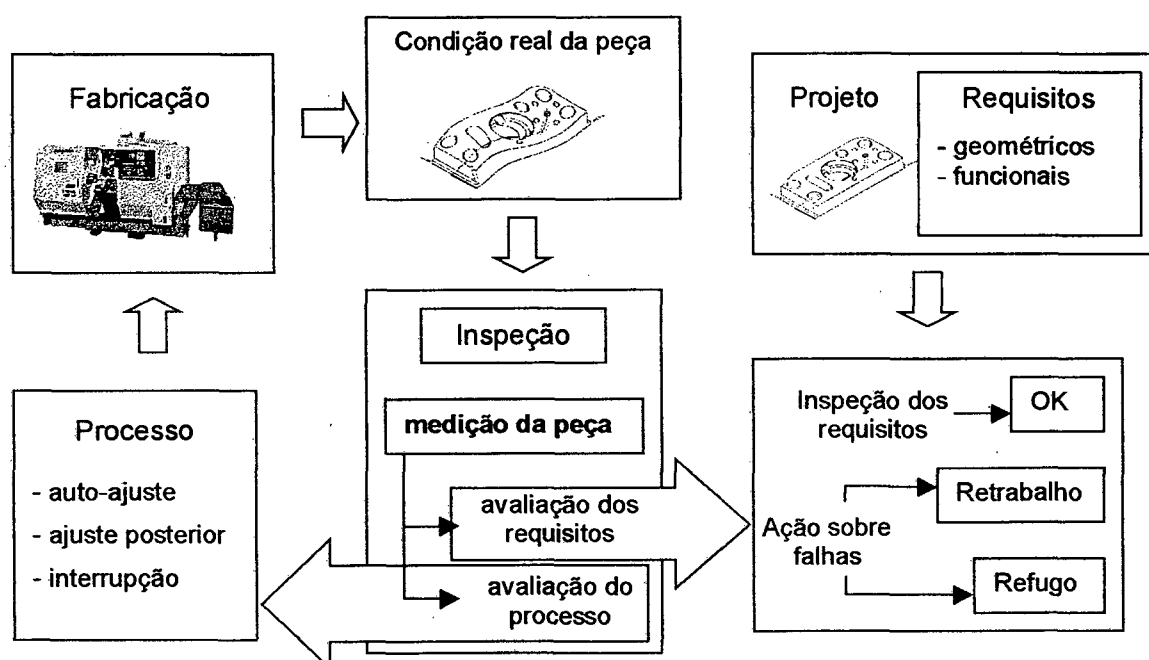


Figura 1.2 – Controle do processo produtivo através da medição da peça produzida [9].

O controle de processos de fabricação pode ser realizado a partir da geometria e dimensão da peça produzida, das condições de desgaste da ferramenta ou através de parâmetros do próprio processo (forças de corte, avanço, vibrações, etc.) com medição simultânea à fabricação. No caso do controle do processo auxiliado pela TMC, um dos aspectos preferenciais é a possibilidade da inspeção geométrica da

primeira peça produzida, para em seguida, fazer os ajustes necessários na máquina ferramenta [11].

1.1.3 Agilidade e confiabilidade no controle dimensional de peças

Idealmente espera-se que o processo de fabricação seja estável e que não produza produtos defeituosos, dispensando a tarefa de inspeção. Porém essa é uma situação difícil de ser alcançada. É crescente a necessidade da redução dos tempos para a execução das medições das peças produzidas. A redução dos tempos de inspeção implica em respostas mais rápidas sobre possíveis problemas do processo de fabricação, oferecendo condições de se atuar corretivamente sobre os parâmetros do processo, evitando-se perdas e mantendo-o sob controle.

A tecnologia possibilitou avanços mais significativos na produtividade dos processos de fabricação, transferindo-se o gargalo da produção para a inspeção [12]. Isso pode ser contornado, em parte, por meio da programação virtual da inspeção de peças de produção em série, com a qual consegue-se evitar perdas de tempo produtivo da MMC. Com a possibilidade de programação da medição *off-line*, a inspeção de peças com geometria complexa apresenta-se confiável devido ao conhecimento da condição de apalpação, direção de compensação do raio de apalpador, região a ser apalpada, entre outros [13].

1.2 PANORAMA DA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS DE UM LABORATÓRIO PRESTADOR DE SERVIÇOS EM MEDIÇÃO POR COORDENADAS

Define-se aqui que um Laboratório Prestador de Serviços (LPS) em Medição por Coordenadas é um laboratório que oferece suporte técnico relativo a tecnologia de medição por coordenadas, possuindo pessoal qualificado e capacitado em buscar soluções por meio de medições para os problemas enfrentados pela indústria. O LPS pode ser interno ou externo à indústria (figura 1.3), sendo que os laboratórios internos estão próximos ao processo produtivo e são dedicados às medições de seus produtos. Os laboratórios externos são laboratórios independentes e especializados em TMC, apresentando um portfólio amplo de serviços.

Nesse trabalho são apresentadas a situação atual da prestação de serviços e as oportunidades de vários serviços de suporte para a indústria, executados pelo LPS.

1.2.1 Caracterização do problema da prestação de serviços em medição por coordenadas

A indústria apresenta necessidades no chão de fábrica que a TMC pode suprir, sendo possível por meio do LPS. Porém o LPS enfrenta grande dificuldade para atendê-las devido à grande diversidade dos serviços e a problemas no fluxo de informações entre o cliente e o laboratório.

A figura 1.3 ilustra o panorama da prestação de serviços em medição por coordenadas. Nas diversas fases do ciclo de vida de um produto existem determinadas demandas (oportunidades de negócios para o LPS), porém o fluxo de informações entre cliente e o LPS nem sempre é eficiente para expressá-las no momento da solicitação do serviço. A sistemática de trabalho de um LPS pode gerar perdas de algumas informações ou não ser capaz de captar dados suficientes para apresentar resultados úteis para o cliente, sendo grande gerador de insatisfação.

A diversidade dos serviços de medição, bem como sua complexidade, inviabiliza, em geral, a definição de procedimentos repetitivos. Tal fato dificulta ainda mais a rápida execução dos serviços.

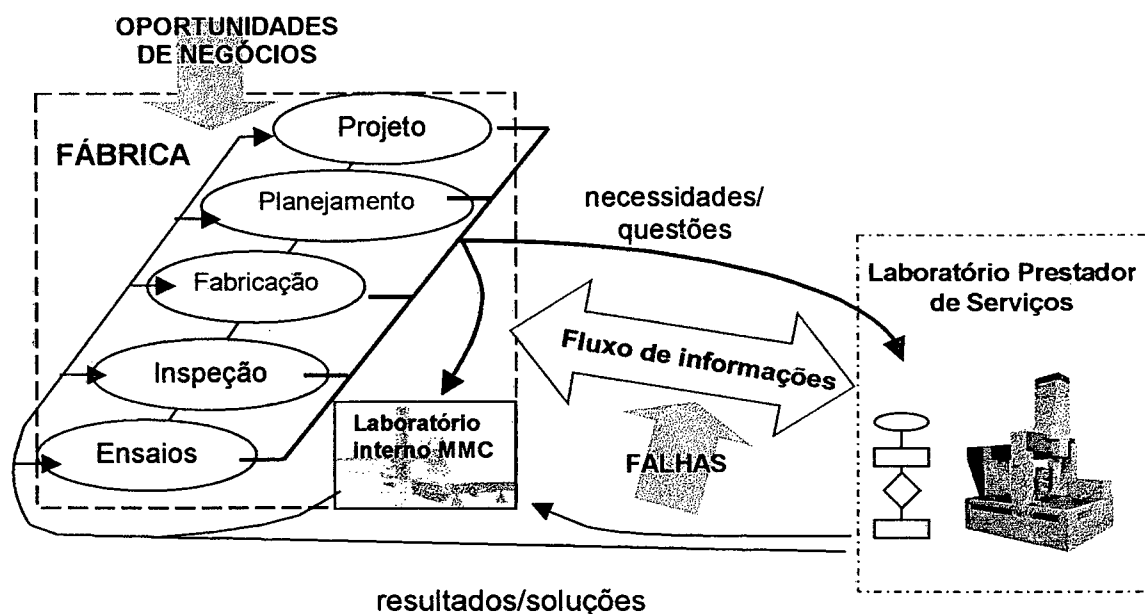


Figura 1.3 – Panorama da prestação de serviços de medição por coordenadas para a indústria

1.3 DESENVOLVIMENTO DE UMA SISTEMÁTICA DE TRABALHO PARA LABORATÓRIO PRESTADOR DE SERVIÇOS

Existe a necessidade de uma sistemática que contemple agilidade e confiabilidade metrológica na execução do serviço de medição de peças, geralmente fora da prática cotidiana do LPS, exigindo-se conhecimentos específicos de TMC e conhecimento de características gerais sobre o objeto a medir.

A clara identificação e conhecimento dos problemas relativos à medição de peças são de fundamental importância para a indicação de soluções e de resultados que possam realmente satisfazer o cliente. A realização das medições pode ser executada por LPS interno ou externo à indústria e, para ambos, as dificuldades enfrentadas são idênticas. Entretanto, para o LPS externo existe a condição de distância geográfica e de não estar acompanhando de perto os problemas enfrentados pelo cliente, bem com a necessidade de elaboração de propostas de serviço e confrontando-se com uma maior diversidade de serviços.

Este trabalho foi desenvolvido para atender a problemática enfrentada por um LPS externo, sendo esta condição mais complexa e ampla, podendo facilmente ser adequada para as atividades de um LPS interno a indústria. Para o desenvolvimento da sistemática de trabalho foi feito o acompanhamento de serviços e rotinas de trabalho no Laboratório de Medição por Coordenadas do Centro de Metrologia e Inovação em Processos da Fundação CERTI, que se caracteriza por seu pioneirismo e sua competência a nível nacional na prestação de serviços em medição por coordenadas.

O estabelecimento de uma sistemática de trabalho para LPS engloba os seguintes aspectos:

- tornar eficiente a comunicação do LPS com o cliente;
- capacitar o LPS para auxiliar na prestação de assessorias;
- organizar as atividades e o fluxo de informações internas do LPS;
- auxiliar na orçamentação e previsão de tempos dos serviços de medição;
- buscar soluções eficazes para os problemas dos clientes.

CAPÍTULO 2

OPORTUNIDADES E DESAFIOS DE UM LABORATÓRIO DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS PARA A INDÚSTRIA

A qualidade do serviço, particularmente no que se refere à confiabilidade nos resultados gerados, pode tornar os Laboratórios Prestadores de Serviços (LPS) importantes parceiros das indústrias. A demanda de serviços de medição por coordenadas em LPSs credenciados é crescente à medida que a manufatura evolui e as exigências de controle de qualidade tornam-se mais rigorosas. Para atender a demanda, esses LPSs em medição por coordenadas apresentam um portfólio amplo de serviços capaz de suprir as necessidades empresariais relativas a Tecnologia de Medição por Coordenadas (TMC).

Porém um portfólio de serviços amplo, aliada à diversidade dos objetos nos serviços de medição, pode ocasionar problemas no fluxo de informações necessárias para o atendimento das necessidades dos clientes. Serviços de medição são, em geral, atividades não rotineiras ao LPS, o que gera maior importância nas informações obtidas do cliente para a definição correta das razões e dos objetivos do serviço. A eficiência do fluxo de informações externo ao LPS (entre o LPS e o cliente) e interno ao LPS (dinâmica de trabalho da equipe) é fundamental para a execução dos serviços de medição.

Neste capítulo é apresentado o portfólio de serviços em medição por coordenadas, descrevendo as características e os aspectos críticos para a execução dos mesmos.

2.1 PORTFÓLIO DE SERVIÇOS

Os diversos serviços oferecidos por um LPS em medição por coordenadas podem ser divididos em cinco grupos. São eles: calibração de instrumentos de medição, de medidas materializadas e de MMC, prestação de assessorias e serviços de medição tridimensionais (figura 2.1).

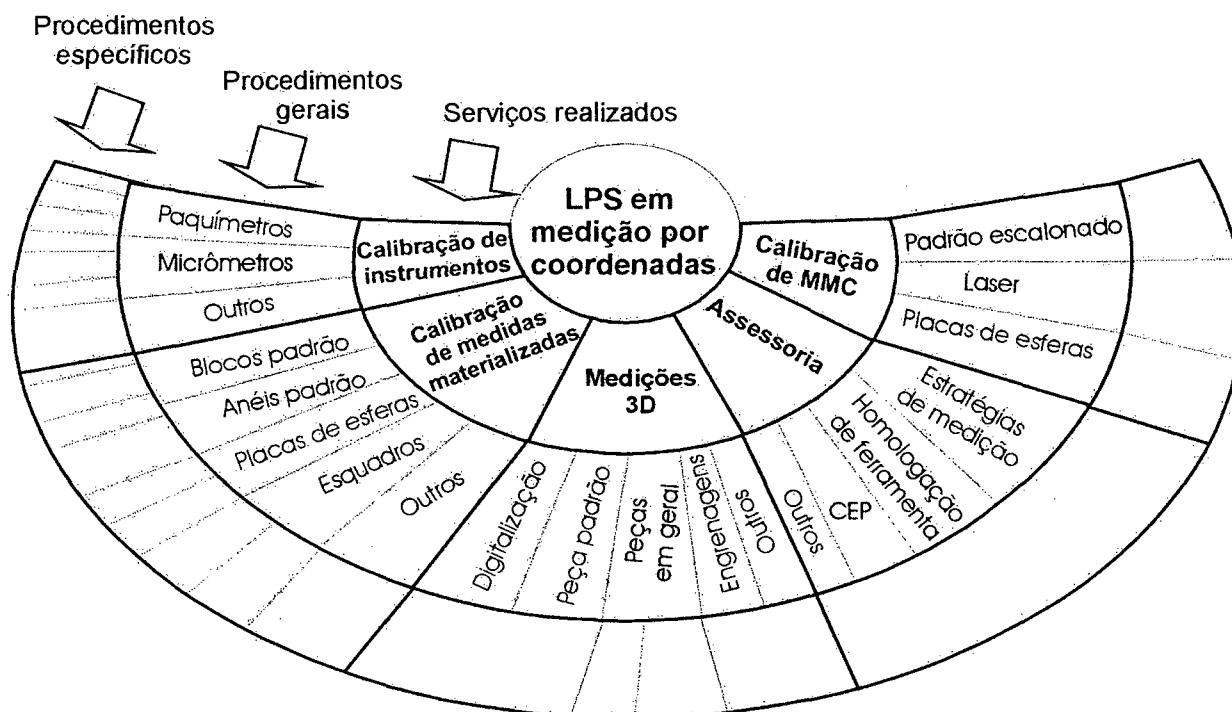


Figura 2.1 – Portfólio de serviços de um Laboratório Prestador de Serviços em medição por coordenadas

Cada grupo de serviços possui procedimentos gerais e específicos segundo a conveniência e atendimento a requisitos normativos quando necessário. A seguir são descritos os tipos de serviços oferecidos por um LPS em medição por coordenadas.

2.1.1 Serviços de Medição 3D

a) Medição de peças em geral:

Esse tipo de serviço se caracteriza pela diversidade da geometria e do material do objeto a medir, entre outros fatores, que tornam a execução da medição mais complexa. Devido à diversidade, cada novo objeto necessita de estudos mais elaborados sobre suas características, influências do processo de fabricação e de

seus desvios geométricos, exigindo flexibilidade e agilidade do LPS para executar o serviço.

Serviços de medição de peças em geral apresentam uma demanda crescente na indústria, particularmente peças com geometria complexa que não podem ser medidas facilmente com instrumentos de medição convencionais. Este tipo de serviço apresenta desafios ao LPS para gerar resultados que sejam confiáveis e que realmente possam contribuir para as análises das condições da peça e do processo de fabricação do cliente.

b) Inspeção de controle geométrico:

Serviços de medição de peças podem ser executados por LPS em situações onde as peças produzidas apresentam geometria complexa e o cliente não dispõe de instrumentos de medição adequados para fazer o controle dimensional. O LPS se caracteriza como um parceiro importante no auxílio da tarefa de inspecionar, podendo contribuir desde o planejamento do plano de controle até a realização da inspeção do objeto a medir (OM) no LPS. A execução da inspeção pode ser feita por um LPS interno à indústria, por um LPS que se localiza próximo à indústria ou por um LPS que está distante da indústria. Neste último caso, maior atenção deve ser tomada na logística do processo.

O planejamento da inspeção, particularmente em medição por coordenadas, é fator essencial para o rastreamento de informações e disponibilidade de dados sobre o processo produtivo no intuito de buscar melhorias em todas as fases do desenvolvimento de um produto. Para a realização eficiente e economicamente viável dessa tarefa, é fundamental a verificação da necessidade e abrangência da inspeção [15].

Na figura 2.2 tem-se uma idéia das oportunidades de serviços em TMC no âmbito da inspeção de controle de qualidade.

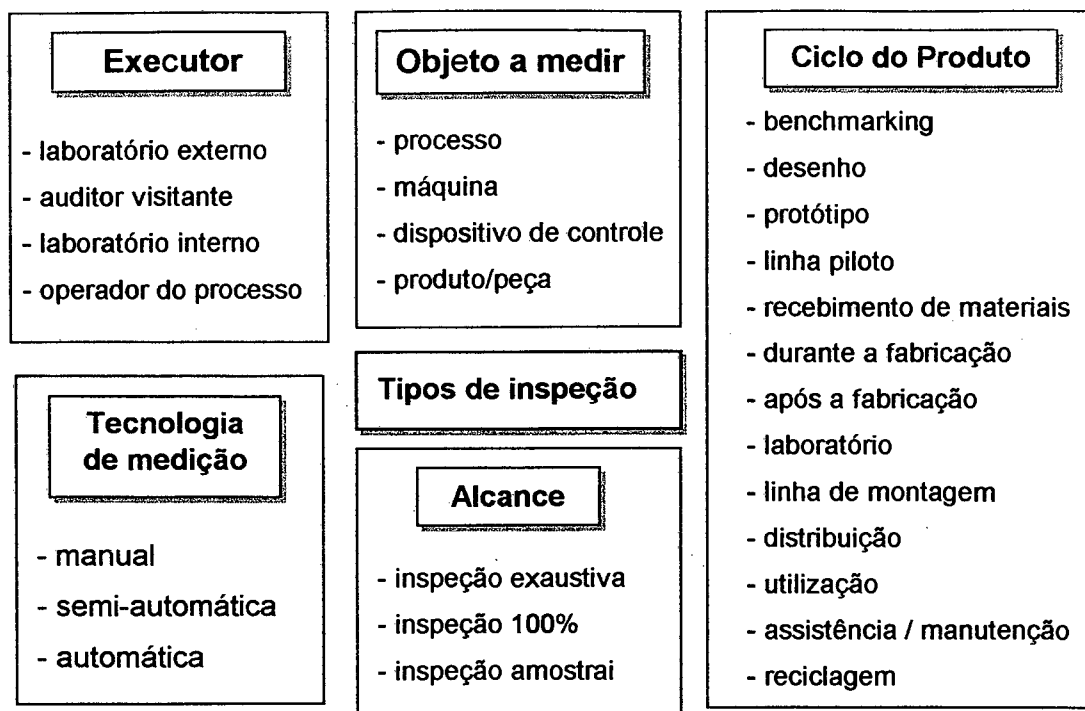


Figura 2.2 – Oportunidades de prestação de serviços para o LPS na inspeção de controle geométrico [14]

c) Inspeção de engrenagens:

A inspeção de engrenagens é uma tarefa difícil de ser executada com instrumentos de medição convencionais. Programas especiais para medição de engrenagens tornam a MMC uma ferramenta de grande versatilidade, oferecendo excelente demanda de serviços para LPS em medição por coordenadas. Através da utilização de mesas rotativas, a medição dos diversos parâmetros de controle de engrenagens é facilmente determinada (figura 2.3).

A inspeção de engrenagens pode envolver parâmetros básicos, como ângulo de hélice e geometria do dente, e especiais, como desvios de batimento e desvios do perfil da envolvente, que podem ser mais facilmente medidos com a MMC [16],[17].

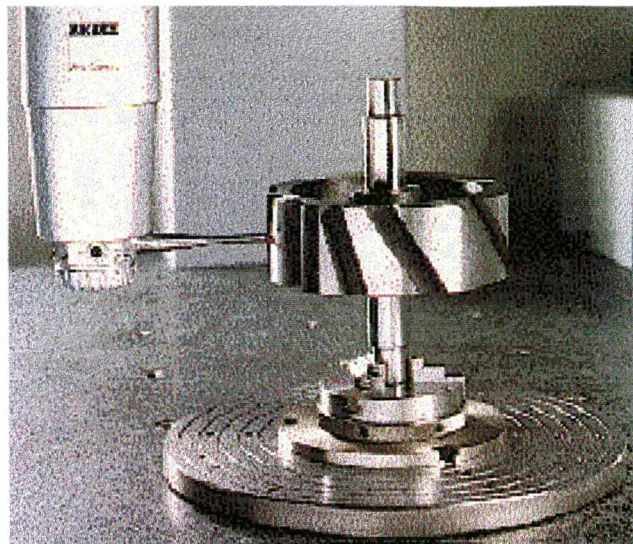


Figura 2.3 – Facilidade de medição de engrenagens utilizando mesa rotativa em MMC

d) Peça padrão:

São utilizadas peças oriundas da fabricação, porém fabricadas com critérios mais rigorosos (intervalo de tolerâncias menor, por exemplo) e com grau de acabamento superior às peças fabricadas em série, para a regulação de máquinas específicas de fabricação e/ou controle de processo de fabricação.

Além disso, são usadas peças padrão para uma avaliação específica de uma medição em MMC (e obter a incerteza da MMC) visando simplificar a avaliação das fontes de incerteza da medição. As características da peça padrão devem respeitar certas condições estabelecidas segundo indicações da ISO 15530 partes 4 [18] e 5 [19], como se observa na figura 2.4.

TMC – Comparação da calibração padrão e da medição de objetos	
Parâmetros da medição	Maior diferença entre padrões e objetos a serem medidos
características geométricas	$\pm 10\%$ diferença em comprimento ou ± 25 mm (o que for maior); $\pm 5^\circ$ em ângulo
material (coeficiente de expansão, elasticidade, dureza)	deve ser idêntico devido a propriedades funcionais
estratégia de medição	deve ser idêntica
configuração do apalpador	deve ser idêntica
força de medição	$\pm 20\%$

Figura 2.4 – Características de similaridade de uma peça padrão com o objeto a medir [18], [19]

O auxílio na determinação da estratégia de medição adequada, na avaliação das fontes de incerteza, na calibração da peça padrão e na orientação de procedimento de medição são tarefas executadas pelo LPS. Tarefas estas que exigem extremo rigor por parte do executor do serviço, de modo que seja minimizada a propagação de incertezas.

A utilização da peça padrão oferece uma alternativa simples de a indústria garantir a rastreabilidade metrológica com MMC em medições de peças, facilitando a avaliação da incerteza de medição [20], [21]. A figura 2.5 ilustra o esquema da utilização da peça padrão.

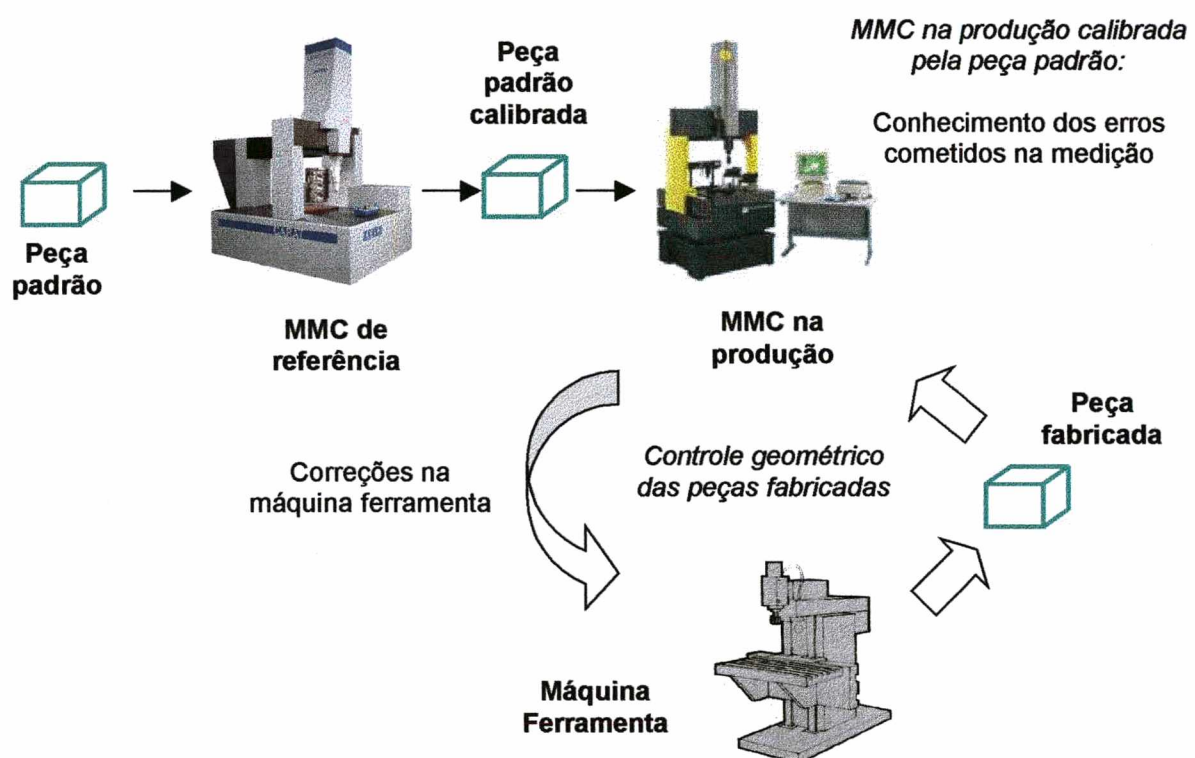


Figura 2.5 - Avaliação de incerteza da MMC da produção através de peça [22]

A peça padrão, respeitando-se as características de similaridade (figura 2.4), é medida em uma MMC de referência com baixa incerteza de medição e em ambiente controlado, determinando-se assim sua geometria. Em seguida, a peça padrão é medida pela MMC incorporada à produção, a qual apresentará erros nos resultados da medição em relação aos resultados da MMC de referência, que podem ser corrigidos nas medições das peças da produção. Dessa forma, os resultados das medições da MMC na produção estão rastreados metrologicamente e permitem

melhor controle sobre o processo produtivo.

e) Digitalização (engenharia reversa):

Serviços de digitalização de peças possibilitam a modelagem de componentes mecânicos em programas de CAD. Muitas vezes modelos físicos (por exemplo *clays*) com superfícies livres de forma complexa são criados e em seguida digitalizados para que se possa criar modelos em CAD. O processo de digitalização pode ser dividido em três etapas (figura 2.6): digitalização do objeto (a), extração do elemento geométrico (b) e modelagem em CAD (c).

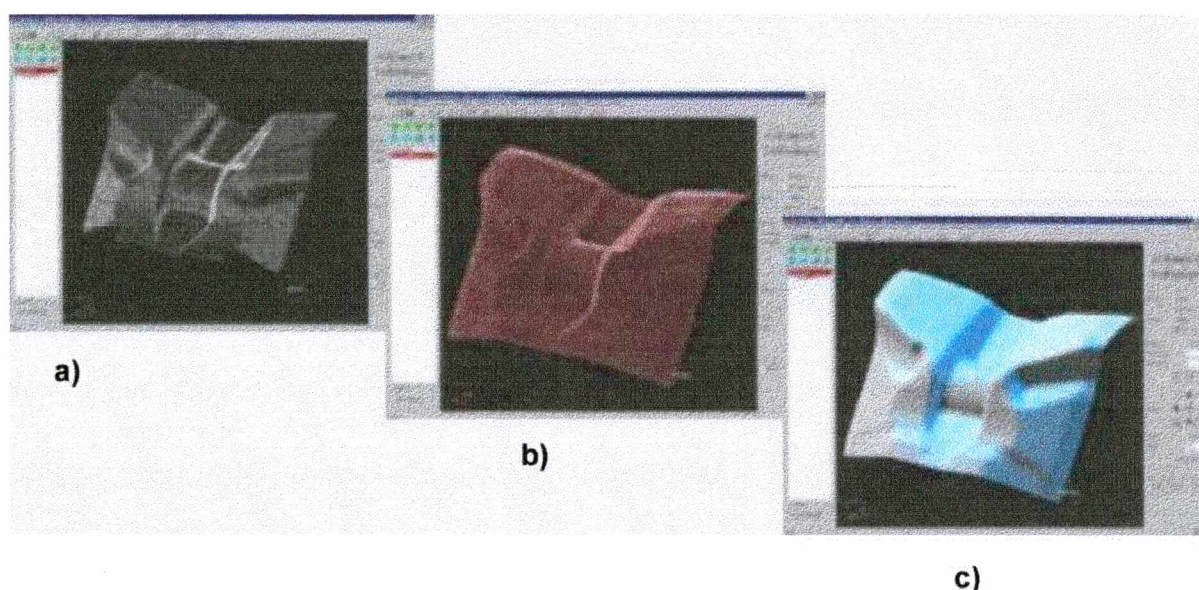


Figura 2.6 – Etapas da digitalização de uma superfície de forma livre

A digitalização do objeto constitui-se na obtenção dos pontos apalpados sobre sua superfície. A extração do elemento geométrico é realizada pelo reconhecimento de elementos geométricos através dos dados digitalizados por segmentação. A segmentação é a divisão da superfície em regiões homogêneas, cada região com sua nuvem de pontos. Após a segmentação dos dados, um sistema de CAD é utilizado para ajustar os dados digitalizados em superfícies, caracterizando o objeto em modelo CAD [23]. Porém esta tarefa não é simples, principalmente quando a geometria é complexa, o que dificulta a automação do processo. Outra dificuldade encontrada é a interface entre programas que processem os dados da digitalização com os que fazem a modelagem em CAD [12].

2.1.2 Calibração de instrumentos de medição

A calibração de instrumentos de medição dimensional pode ser feita de modo simples e rápido na MMC, dependendo do instrumento considerado. É importante que sejam atendidas satisfatoriamente as relações de incertezas entre sistema de medição padrão (MMC) e sistema de medição a calibrar.

Micrômetros de três pontas e de medição externa, paquímetros, goniômetros, entre outros, são os instrumentos de medição mais freqüentemente calibrados. A facilidade para execução da calibração e o menor tempo de calibração em comparação com outros métodos podem tornar a calibração em MMC economicamente viável.

2.1.3 Calibração de medidas materializadas

A calibração de medidas materializadas pode ser feita em MMC desde que sejam observados determinados aspectos. Apesar das incertezas das MMC mais precisas estarem na faixa de poucas unidades de μm , nem todas as classes de padrões corporificados podem ser calibrados por elas. Através da calibração com o método da comparação pode-se obter valores menores de incerteza de medição na calibração destas medidas materializadas [24]. Citam-se como exemplos anéis padrão, blocos padrão, padrões escalonados, calibradores do tipo passa/não passa e padrões roscados, como ilustra a figura 2.7.

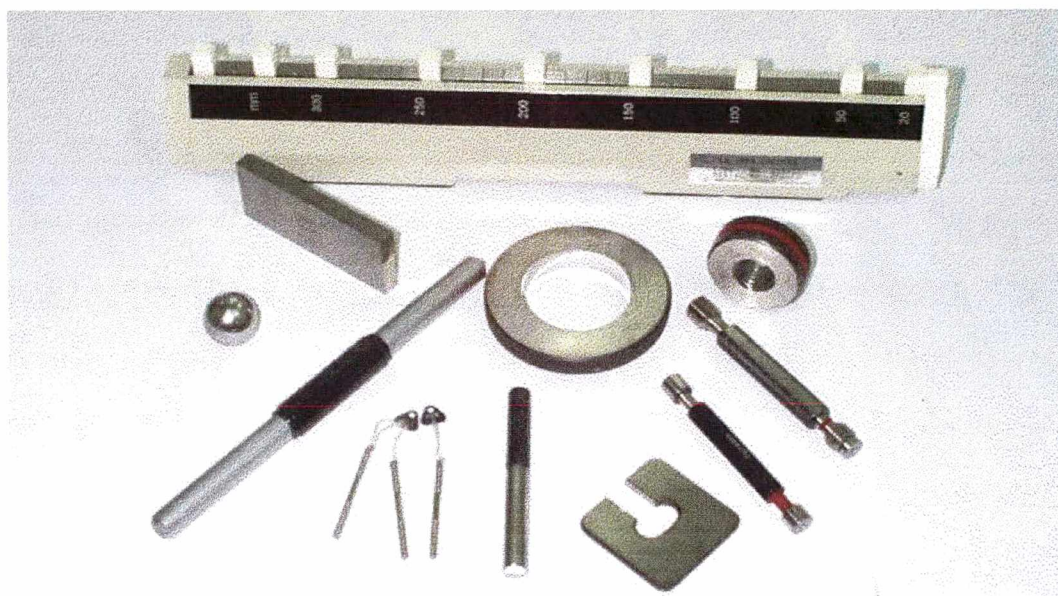


Figura 2.7 – Exemplos de medidas materializadas calibradas em MMC [24]

A flexibilidade da MMC pode contribuir para a diminuição do tempo de execução da calibração em relação a métodos convencionais. Por se tratar de padrões, as calibrações estão predefinidas em procedimentos normalizados, viabilizando a programação de rotinas de medição para os diversos tipos de medidas materializadas.

2.1.4 Calibração de máquinas de medir por coordenadas

A MMC é uma ferramenta importante no controle dimensional de peças, porém é fundamental que se tenha conhecimento da sua incerteza de medição através de calibração. A calibração serve para avaliar o grau de exatidão com que a MMC realiza as medições, porém é importante a conscientização por parte do cliente quanto ao uso dos resultados da calibração na avaliação das tarefas de medição em conjunto com as demais fontes de incerteza. O uso coerente desses resultados, aliado ao conhecimento do princípio de medição e seus componentes estruturais, possibilitam ao metrologista maior controle sobre as fontes de incertezas da MMC.

Entretanto, a aplicação do conceito de calibração para a MMC apresenta uma certa dificuldade comparada aos demais sistemas de medição. Isto ocorre devido a universalidade e a complexidade do seu comportamento geométrico [25], [26]. Diversas normas publicadas para ensaios de MMC auxiliam o usuário a verificar o desempenho metrológico das MMC, tais como VDI/VDE 2617 [27], ISO 10360-2 [28] e EAL G17 [29], entre outras.

Os ensaios em MMC são comumente divididos em três categorias: Aceitação, Verificação e Calibração.

- O Ensaio de Aceitação é uma relação contratual realizada no momento da instalação da MMC pelo fornecedor no local de trabalho segundo procedimentos de calibração referenciados em normas. É um teste de verificação das condições reais da MMC em relação com os dados especificados pelo fabricante.
- O Ensaio de Verificação é um teste simples e periódico realizado geralmente pelo próprio usuário objetivando o conhecimento das condições gerais de medição da MMC. Em caso de a MMC não atingir os limites de erro especificados, toma-se a decisão de efetuar calibração mais rigorosa.

- A calibração, a rigor, é a determinação dos desvios verificados entre o valor indicado pelo sistema de medição e o valor verdadeiro convencional [30]. Porém, este conceito é de difícil aplicação para uma MMC, pois teria que expressar a incerteza de medição para cada elemento geométrico medido, por exemplo, diâmetros, ângulos, comprimentos, etc. Dessa forma, o que normalmente se apresenta no resultado do Ensaio de Calibração da MMC é o seu erro cometido na medição de comprimentos no seu volume de medição [2], [31], [32], [33], [34].

São vários os métodos de ensaios de MMC, sendo diferenciados pelo padrão utilizado, tempo empregado e volume de informações sobre as condições da MMC. Quanto ao volume de informações das condições da MMC, esses métodos podem fornecer os erros geométricos da MMC de dois modos distintos. No primeiro modo, é fornecida a incerteza de medição volumétrica da MMC, sem separar os erros que levam a essa incerteza (ensaio com barras de esferas rotuladas, por exemplo). No segundo modo, o ensaio geométrico separa as fontes de incerteza da MMC (posicionamento, retilineidade, perpendicularidade, etc.) e/ou permite determinar a incerteza de medição ao longo de todo o volume de medição para tarefas específicas, tendo como exemplo ensaios com laser interferométrico e placa de esferas [35].

Na figura 2.8 observa-se a utilização de medidas materializadas tais como placas de esferas (a), padrão escalonado (d) e barra de esferas (e). Desses artefatos, as placas de esferas (ou ainda placas de furos) favorecem uma avaliação mais profunda das condições metrológicas da MMC [25], [37]. O padrão escalonado e a barra de esferas são comumente utilizados em ensaios nas indústrias por serem mais simples e rápidos, porém não abrangendo todos os erros geométricos da MMC.

O ensaio com barra de esferas rotuladas (b) permite medir pontos no espaço em forma esférica, representando um parâmetro de verificação periódica da MMC. Já o ensaio com laser interferométrico (c) pode abranger ensaios de perpendicularidade, retilineidade, posicionamento e medições angulares, porém ensaios completos com laser interferométrico são muito demorados e complexos para ser executados [36].

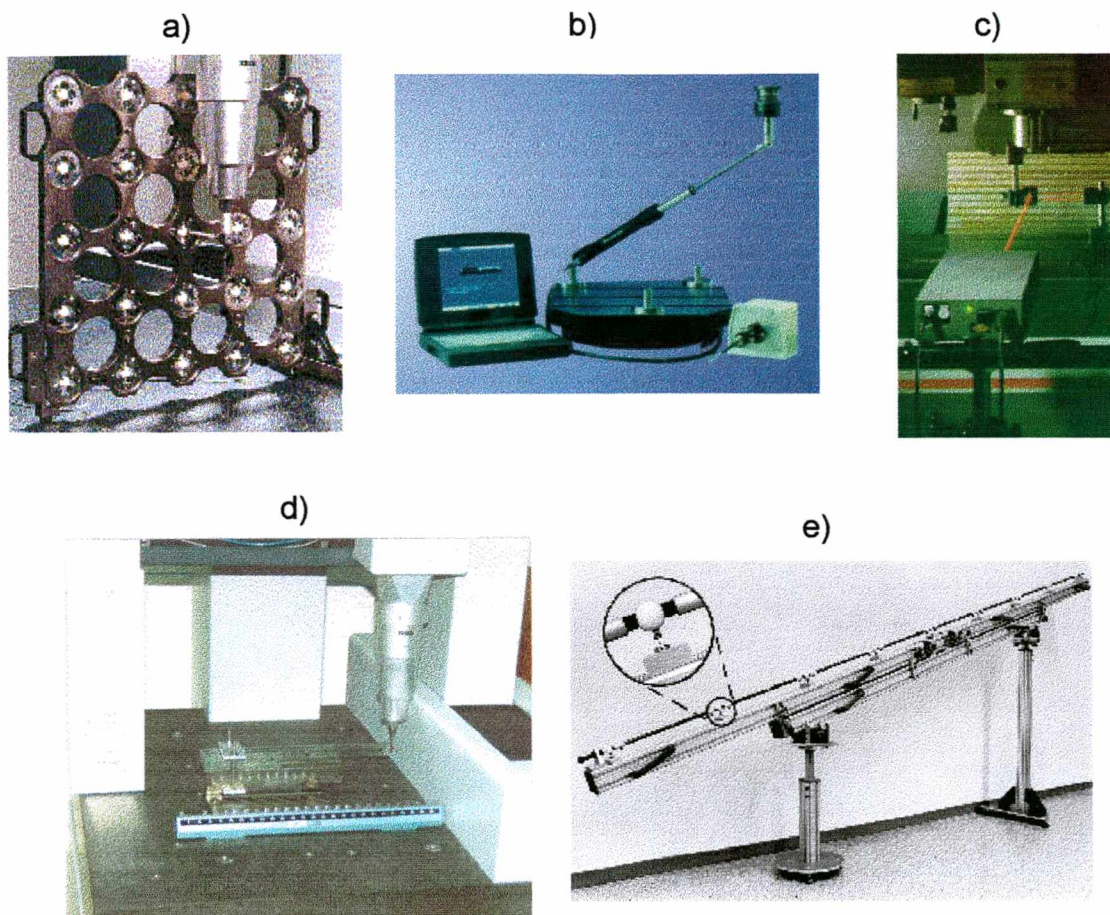


Figura 2.8 – Exemplos de padrões utilizados em ensaios de MMC [36]

Outra forma de se obter a incerteza de medição da MMC, especialmente para tarefas específicas de medição, é através do método da MMC Virtual, que consiste basicamente de duas etapas. A primeira envolve os ensaios para levantamento dos erros da MMC através de calibrações e ensaios de apalpação. A segunda etapa consiste de simulações computacionais das condições na medição de tarefas específicas, tais como configuração de apalpadores e estratégia de medição [38].

2.1.5 Assessorias

A prestação de assessorias por parte do LPS viabiliza parceria em trabalhos promovendo benefícios tanto para o cliente como para o laboratório. Treinamentos de aperfeiçoamento em medição por coordenadas, estabelecimento de estratégias de medição e avaliação de incertezas de medição são exemplos de deficiências freqüentemente encontradas nas indústrias. Nesse sentido, o LPS pode suprir essas deficiências através de cursos e palestras promovendo a capacitação do cliente em

conceitos fundamentais e específicos na tecnologia de medição por coordenadas.

Conhecimentos especializados adquiridos com experiência e pesquisa fazem dos LPS um excelente parceiro na sistematização e planejamento de planos de inspeção de controle, programação CNC da medição em MMC e no estabelecimento eficiente de estratégias de medição.

Em situações mais amplas e complexas, o LPS pode prestar assistência metrológica para a indústria na idealização de um laboratório de medição por coordenadas interno. Informações sobre os cuidados e recomendações do sistema de climatização do laboratório, sistema de isolamento contra vibrações para a MMC, critérios relevantes na seleção adequada do tipo de MMC de acordo com o ambiente de trabalho, incerteza de medição requerida e acessórios especiais necessários para o trabalho a ser executado podem ser disponibilizados e discutidos com o cliente [10], [39]. Além disso, o LPS pode prestar serviço de execução de ensaios de desempenho metrológico da MMC e indicação de possíveis ajustes de correção da MMC, quando disponíveis.

2.2 DIFERENCIAÇÃO ENTRE SERVIÇOS DE MEDIÇÃO, CALIBRAÇÃO E ASSESSORIA

Existem diferenças quanto a realização de serviços de medição e de calibração de objetos ou padrões. A assessoria pode abranger uma dessas duas atividades em complementação a atividades de projetos de melhoria em processos produtivos.

A figura 2.9 ilustra um comparativo entre os tempos de preparação e de execução (medição) entre os serviços de calibração, de medição e de verificação de dispositivos de controle.

Os serviços de calibração, tanto de medidas materializadas quanto de instrumentos de medição, estão definidos por procedimentos normalizados que especificam a estratégia de medição, o cálculo de incertezas e demais atividades envolvidas na execução de uma calibração. Geralmente o tempo predominante na realização de um serviço de calibração é o tempo de execução da medição (obtenção das medidas), sendo os tempos de preparação e de emissão de certificado menores devido aos procedimentos e automação dos certificados de calibração. São serviços de caráter repetitivo e de menor valor agregado, comparando-se aos serviços de

medição de peças.

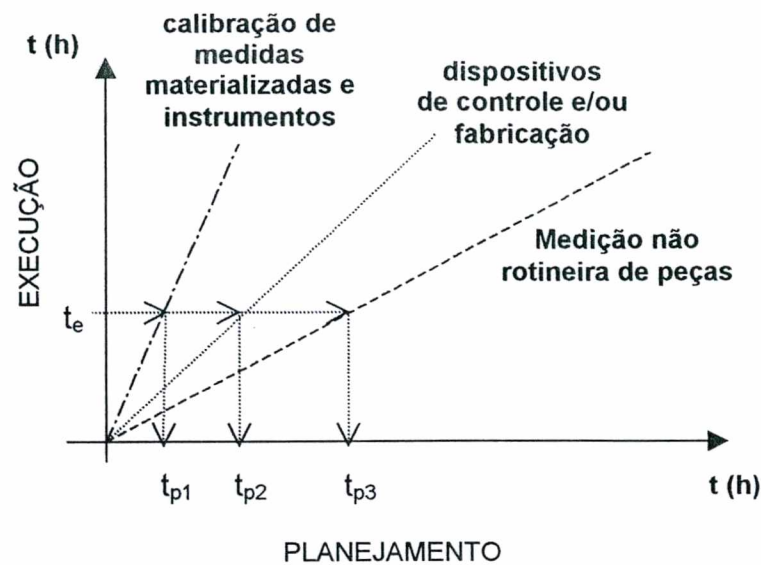


Figura 2.9 – Comparativo de tempos entre os serviços executados em MMC

Em serviços de medição tridimensionais, pode-se caracterizar dois tipos de medição: normal e analítica.

A medição normal é aquela em que se executa a medição e comparam-se os resultados obtidos com as especificações de projeto. Esta comparação define a conformidade ou não das características medidas com as especificações do intervalo de tolerâncias. A esse tipo de medição pode-se dar o exemplo de verificações simples de dispositivos de controle de peças, onde o cliente necessita de um relatório de medição que comprove a sua adequação quanto às suas especificações, sem se preocupar se o projeto do dispositivo realmente cumpre o papel de controlador de qualidade de peças.

A medição analítica é aquela em que se executa a medição, comparam-se os resultados obtidos com as especificações e, juntamente com os resultados, são apresentadas informações e ações corretivas para o suposto problema, caso haja resultados não conformes. Nesse tipo de medição, são levados em conta aspectos relativos à fabricação do objeto a medir (OM). Medições de peças com geometria complexa são exemplos desse tipo de serviços de medição. Como pode ser observado na figura 2.9, o tempo de planejamento (entendimento e preparação) da medição do OM é geralmente superior ao tempo de execução da medição.

A prestação de serviços de assessoria leva em conta a medição analítica em conjunto com análises sobre a funcionalidade do OM, como ilustra a figura 2.10.

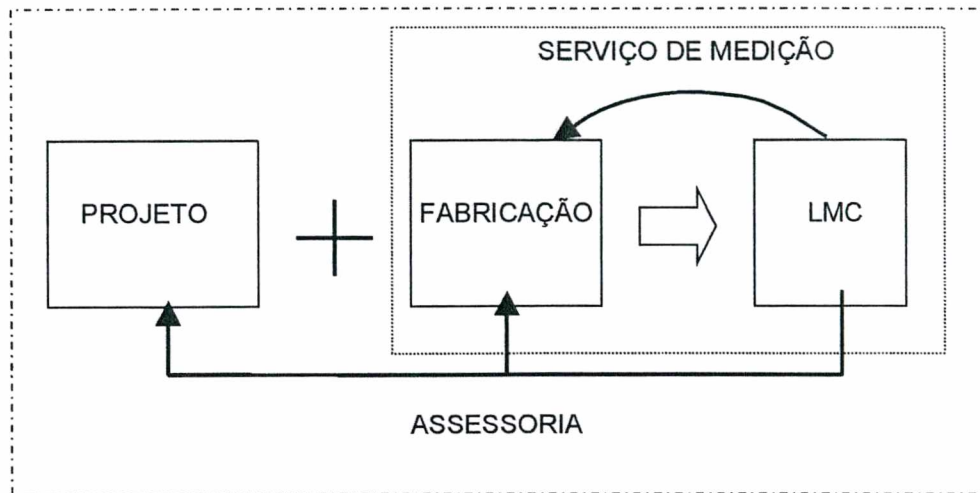


Figura 2.10 – Abrangência dos serviços de medição e assessoria

Como exemplo, em serviços de assessoria pode ser feita uma análise do projeto do dispositivo de controle verificando se o mesmo atende ao seu propósito. Nesse caso, a medição envolve o controle dimensional e a garantia da funcionalidade do OM. Esses serviços são mais elaborados e têm um tempo de entendimento e planejamento maior.

2.3 CAUSAS DE FALHAS NA PRESTAÇÃO DOS SERVIÇOS

Por melhor que seja a estrutura interna do LPS, este não está imune a ocorrência de falhas nos serviços prestados. A ocorrência de falhas é mais freqüente em serviços mais complexos e em casos onde o cliente está distante do LPS, o qual toma conhecimento do problema apenas pelas informações repassadas pelo cliente. Essas informações podem ser incompletas ou não caracterizam claramente a verdadeira necessidade do cliente.

O conhecimento das causas de falhas na prestação de serviços orienta o LPS a contornar problemas e a identificar as informações que são relevantes para a execução do serviço. Isto se reflete diretamente no cumprimento de prazos de término ou entrega do serviço prestado, que cada vez mais se torna um diferencial importante na prestação de serviços.

A figura 2.11 ilustra as principais causas de falhas na prestação de serviços usando medição por coordenadas.

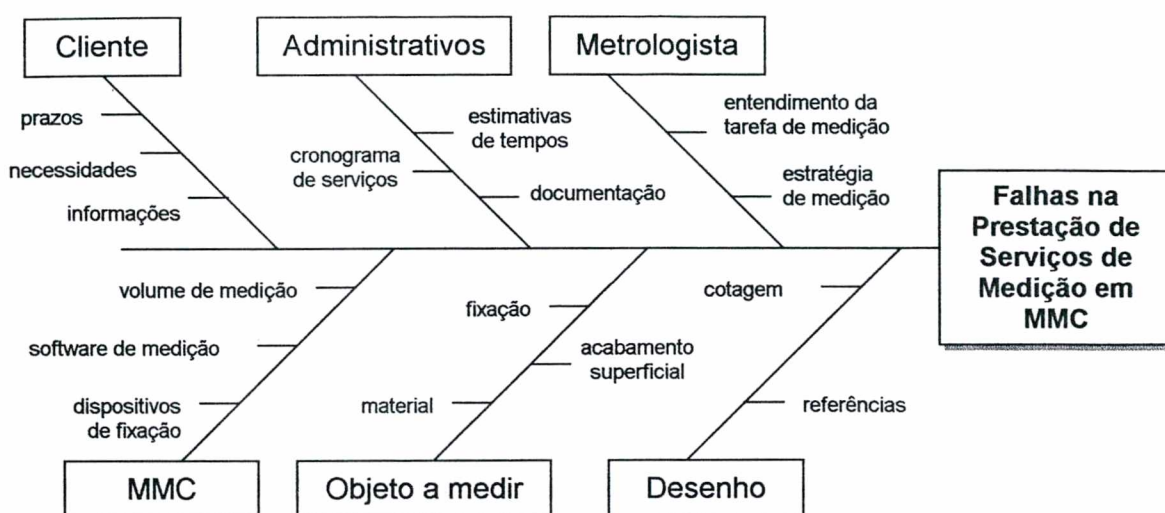


Figura 2.11 – Principais causas de falhas nos serviços de medição em MMC

Na seqüência, são descritas as principais causas de falhas e as dificuldades que cada uma delas gera para a prestação de serviços.

2.3.1 Cliente

A clara definição do problema por parte do cliente é a premissa básica para que o LPS possa de fato satisfazer suas necessidades. Sem saber ao certo qual o real problema a ser solucionado, dificilmente os resultados apresentados podem contribuir com o cliente. No entanto, nem sempre esta é uma tarefa fácil de ser feita.

Normalmente, o cliente identifica um problema técnico ocorrido no produto ou processo produtivo. A busca de solução para esse problema técnico leva a formulação de uma tarefa de medição, orientando a razão da medição, quais parâmetros medir, de que modo, etc. Além da dificuldade da identificação da razão da medição e do que medir, adiciona-se à questão o repasse de informações ao LPS, cuja prática tem se mostrado difuso.

O máximo de informações relevantes ao serviço deve ser repassado ao LPS para que se possa ter uma visão mais ampla das características do problema. Estas informações podem contribuir para a diminuição do tempo efetivo na execução do serviço bem como evitar a necessidade de retrabalhos e sucessivas verificações de

dados.

2.3.2 Objeto a medir (OM)

O conhecimento da funcionalidade e da interação do OM com outros componentes ou dispositivos são informações importantes para a execução dos serviços de medição. Como os objetos não fazem parte do cotidiano das medições no LPS, as informações sobre eles são o primeiro contato para uma definição clara da tarefa de medição por parte do metrologista.

As dimensões e a geometria do OM geram dificuldades adicionais em casos extremos, como, por exemplo, em OM maiores que o volume de medição da MMC ou quando possui geometria complexa, como ilustra a figura 2.12.

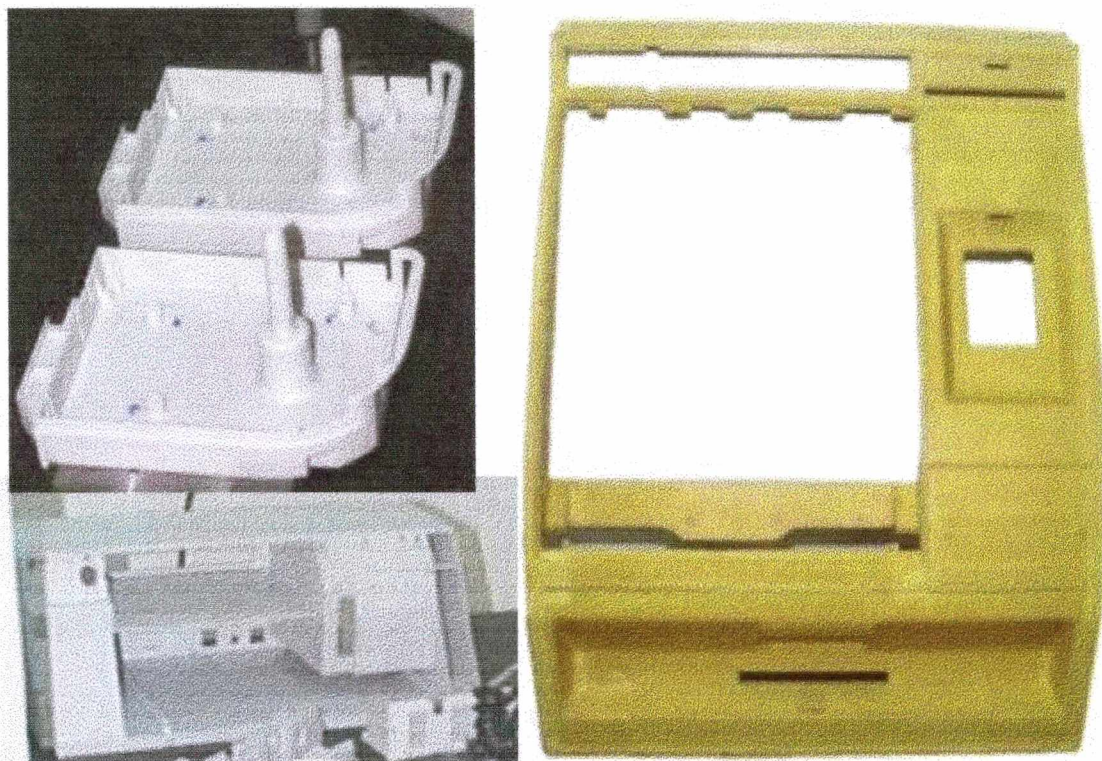


Figura 2.12 – Peças plásticas cujo controle dimensional é viável com a MMC

O tipo de material do OM pode alterar procedimentos de fixação e de apalpação, sendo necessária avaliação criteriosa sobre as influências de forças de fixação e de apalpação, peso e apoios do OM e de imperfeições superficiais características de cada material e respectivo processo de fabricação.

Dados adicionais sobre o processo de fabricação podem ser importantes no

planejamento da medição. Estas informações fornecidas pelo cliente juntamente com a visualização do estado geral e do acabamento superficial do OM, ajudam a determinar a estratégia de medição e o dispositivo de fixação adequado para evitar problemas de empenamento na fixação, gerando distorção nos dados da medição e conseqüentemente erros na análise dos resultados.

2.3.3 Desenho fornecido

Em muitos casos não está disponível para o metrologista do LPS o desenho técnico do OM com informações claras de cotas, de intervalos de tolerâncias ou de planos de referências para medição de elementos geométricos do OM. Ao invés do OM estar acompanhado de seu desenho técnico, há um croqui simplificado com algumas informações básicas sobre dimensões a serem medidas. Isto prejudica o entendimento da tarefa de medição por parte do metrologista, principalmente quando o OM não está presente no momento da elaboração da proposta de serviço, podendo resultar em maiores tempos de execução do serviço e aumento dos custos do serviço devido a medições repetidas.

Informações sobre as cotas a serem medidas, planos ou elementos geométricos de referência e desenhos em vistas de fácil visualização do OM são importantes na medição com MMC, pois os resultados podem ser influenciados por erros geométricos do OM. Sem informações sobre referências ou origem do sistema coordenado do OM, a interpretação do desenho pelo metrologista pode não ser a mesma que o cliente tem, gerando-se resultados de difícil análise comparativa, que prejudica a confiabilidade dos mesmos.

2.3.4 Metrologista

Uma das principais fontes de falhas na prestação de serviços em TMC é o metrologista [37]. Isto ocorre porque o metrologista tem a tarefa de captar as informações relevantes ao serviço (geralmente de difícil obtenção), deve entender o desenho do OM (muitas vezes em forma de croquis feitos manualmente), deve estabelecer a estratégia de medição adequada às características de cada OM, operar ou orientar a operação da MMC e deve interpretar os resultados obtidos.

Além de ser responsável por estas tarefas, o metrologista precisa conciliar a

qualidade e confiabilidade das medições com prazos curtos de término do serviço. Isto torna seu trabalho mais crítico e difícil de ser executado. Sistemáticas e documentos de suporte podem contribuir para o andamento eficaz do serviço de medição.

Para a realização eficiente do seu trabalho, o metrologista deve estar capacitado para a prestação de serviços em medição por coordenadas. Para isso, é fundamental que possua:

- Conhecimento de conceitos básicos sobre Metrologia e Tecnologia de Medição por Coordenadas;
- Conhecimento profundo do comportamento metrológico e do manuseio da MMC;
- Conhecimentos de processos de fabricação e os erros geométricos causados sobre a peça produzida;
- Experiência prática em TMC;
- Atenção e bom senso na execução da medição;
- Habilidade na comunicação com o cliente para captar informações sobre o serviço de medição.

2.3.5 Máquina de medir por coordenadas

As falhas introduzidas pela MMC na prestação de serviços podem ser mais acentuadas quando há serviços mais complexos, exigindo estudos mais elaborados. Isto se reflete na limitação do programa específico de medição da MMC, cujas funções básicas podem não contemplar determinados elementos geométricos.

Cuidados com fatores fundamentais, tais como, rastreabilidade da MMC através de calibração periódica, estabilidade da MMC com o tempo, avaliação da incerteza de medição, climatização adequada para a MMC, devem ser tomados pelo LPS.

Outro fator limitante é o volume de medição da MMC. As dimensões a serem medidas podem ser ligeiramente maiores que o volume de medição da MMC, desde que se utilizem prolongadores de apalpador adequados e concatenação de sistema coordenado.

A acomodação do OM sobre a mesa da MMC pode ser disponibilizada por dispositivos de fixação especiais. Tais dispositivos permitem a fixação do OM de formas complexas possibilitando acesso às partes a serem medidas. A disponibilidade destes itens facilita a execução do serviço de medição, diminui o tempo ocioso de preparação e permite a obtenção de melhores resultados quanto a rigidez da montagem do OM e da acessibilidade das partes críticas do OM.

Um fator que pode facilitar certos tipos de medição, pouco frequentes em LPS independentes, é a interface do software de medição da MMC com programas de CAD. Tal disponibilidade possibilita programação *off line*, ou seja, execução de programas de medição através de arquivos em CAD do OM, sem perder tempo produtivo da MMC [12], [40], [41], [42].

2.3.6 Administrativos

O cumprimento de prazos estabelecidos na contratação dos serviços depende de fatores como dificuldade do serviço de medição, disponibilidade da MMC (quantidade de serviços e manutenção), cronograma de serviços e da estimativa correta de tempos e custos para a execução de serviços.

A dificuldade do serviço, aliada à diversidade do portfólio de serviços, gera grandes incertezas nas estimativas de tempos e custos. As estimativas de tempos de preparação, de execução e de análise de dados geralmente não são sistematizadas, dificultando a definição do cronograma de serviços e tornando subjetiva a análise de custo de cada serviço.

A documentação dos detalhes e dificuldades enfrentadas na realização das medições dificilmente é feita. Essa atividade pode contribuir em futuras consultas e oferecer instruções valiosas para novas propostas. Uma documentação feita com clareza e objetividade permite a possibilidade de se criar uma base de consulta rica em informações além de constituir-se em *know-how* consolidado do LPS.

As atribuições de análises de propostas, de execução e de resultados devem ser de senso comum entre os metrologistas garantindo um padrão de qualidade do LPS.

A necessidade de sustentabilidade econômica de muitos LPS pode tornar inviáveis atividades não remuneradas de aprimoramento e exploração de recursos da MMC. As atividades de aprimoramento e determinação de condições de menor incertezas

nos resultados de medição são fundamentais como fatores diferenciais de qualidade do serviço prestado. Desse modo, apesar de muitas vezes essas atividades não serem remuneradas, elas deveriam ser tratadas como ações de melhoria contínua, sem detrimento do cumprimento dos prazos pré-estabelecidos.

2.4 A QUALIDADE DOS SERVIÇOS

A qualidade pode ser definida, segundo Pfeifer e Torres [14], como “o conjunto das propriedades de um produto, processo ou serviço que lhe conferem condições para satisfazer as necessidades declaradas ou implícitas do cliente”.

A satisfação do cliente só é conseguida se o prestador de serviços estiver focalizado nas necessidades do cliente e conseguir atendê-las ou superá-las. A figura 2.13 ilustra a comparação entre a expectativa e a percepção do cliente em relação ao serviço prestado.



Figura 2.13 – Qualidade percebida pelo cliente na prestação de serviços em medição por coordenadas

Para a realização de um serviço com qualidade é interessante que se dê especial atenção na rapidez no atendimento, nos prazos de entrega do serviço, flexibilidade

na execução (sujeição a mudanças durante o serviço), redução de custos do serviço tanto quanto possível sem prejuízo da qualidade e retorno de informações úteis para a solução de problemas do cliente. A satisfação do cliente pode levar a novos serviços e assessorias, possibilitando parcerias com benefícios tanto para o cliente como para o LPS.

2.4.1 Compreensão das necessidades do cliente

O LPS precisa ter a percepção das necessidades do cliente. E isto deve ser conseguido desde o primeiro contato. Em situações extremas, o cliente pode estar interessado em fazer uma verificação rigorosa de seus dispositivos de controle, estando pressionado por requisitos normativos ou estar apenas interessado em uma simples medição para tomar conhecimento das condições gerais do OM.

Nos dois casos anteriores, o cliente tem interesses diferentes e, conseqüentemente, estará disposto ou não a efetuar realmente o serviço, dependendo das condições da proposta elaborada pelo LPS. E, de modo geral, prazo e custo do serviço são os fatores mais fortes para tomar a decisão de executar ou não o serviço de medição. Dessa forma, é importante saber a razão e a real necessidade do cliente a fim de se adequar uma proposta que lhe interesse, sem prejudicar a qualidade do serviço.

Para o melhor entendimento das necessidades do cliente na prestação de serviços em TMC, algumas condicionantes são essenciais para o cumprimento eficiente dessa tarefa. Pode ser necessário auxiliar na caracterização do problema enfrentado, questionando sobre a razão da medição, o *'por que medir?'* e *'para que os resultados servem?'*.

A comunicação do problema e dos objetivos do serviço deve estar clara para ambas às partes. A comunicação pode ser feita do jeito que for mais conveniente: via e-mail/internet, telefone, fax ou pessoalmente. É importante que o fluxo de informações seja consistente, apresentando dados técnicos sobre o OM, resultados a gerar, prazos e outros aspectos relevantes para a execução da medição.

Todos estes fatores devem estar atrelados ao custo e prazos de término do serviço. A definição dos custos dos serviços depende da demanda do mercado, custos internos de pessoal e equipamentos, manutenção do sistema de qualidade, entre outros. "É uma combinação do conhecimento dos custos e do mercado, e do

equilíbrio, muitas vezes sutil, que existe entre eles” [43].

2.4.2 Vantagem competitiva

A prestação de serviços pelo LPS deve estar baseada na diferenciação do serviço e no aumento da qualidade do serviço prestado [44], [45]. A diferenciação vai desde o portfólio de serviços do LPS até as condições de atendimento ao cliente, como cortesia e consideração, criando uma atmosfera amigável.

O aumento da qualidade é a busca contínua de novas soluções e aprimoramentos. Deve-se atentar para critérios competitivos tais como:

- disponibilidade de informação útil, definição de diagnóstico e solução do problema, acompanhamento e comunicação de dados;
- qualidade dentro do processo: tempo de resposta ágil, capacidade de reação frente a novos desafios, treinamento de pessoal e formação de *know-how*;
- qualidade na interação: confiabilidade, pontualidade e apresentação de informações precisas;
- qualidade dos resultados: conformidade com as necessidades e expectativas do cliente.

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE CONTROLE GEOMÉTRICO DE PEÇAS COM O USO DA TECNOLOGIA DE MEDIÇÃO POR CORDENADAS

O processo de controle geométrico é, acima de tudo, essencial para a verificação da conformidade das peças produzidas com as especificações de projeto para a garantia de funcionalidade e de montagem de conjuntos mecânicos.

A tecnologia de medição por coordenadas facilita o controle geométrico de peças com geometria complexa em comparação aos instrumentos de medição convencionais. Porém cuidados diferenciados devem ser tomados para a obtenção de resultados confiáveis. Para isso são descritos os principais aspectos que podem interferir na qualidade das medidas e impor erros no processo de controle geométrico.

Uma sugestão para o planejamento da tarefa de medição é estabelecida visando otimizar a medição e orientar o metrologista na definição da estratégia de medição, segundo a observação dos aspectos críticos envolvidos no processo de controle geométrico. Nesse contexto, são também destacados alguns recursos tecnológicos disponibilizados pela MMC que possibilitam ao metrologista uma execução mais eficiente da medição do objeto a medir com geometria complexa. Conseqüentemente, benefícios econômicos são conseguidos e relacionados às atividades de um LPS na execução de controle geométrico para a indústria.

3.1 ASPECTOS CRÍTICOS NO CONTROLE GEOMÉTRICO DE PEÇAS

Na maioria dos casos, as especificações de projeto e o desenho de componentes mecânicos estão orientados ao cumprimento da função, não havendo compromisso maior com a inspeção. Isto implica em dificuldades no momento da inspeção de peças, especialmente em MMC, devido à dependência de um sistema coordenado adequado. Esse tipo de problema tende a diminuir à medida em que a comunicação entre os responsáveis pela execução dos projetos e da fabricação torna-se mais eficiente.

Além de verificar a conformidade ou a não conformidade das peças com suas especificações de projeto, o controle geométrico também visa a coleta de dados para a determinação de parâmetros de correção do processo produtivo. Essa tarefa está influenciada por diversos fatores que geram erros na avaliação de medidas dificultando a execução da medição e, por consequência, elevam os custos envolvidos com a qualidade. As fontes de erros no controle geométrico englobam o metrologista, o sistema de medição, o ambiente, o objeto a medir (OM), a estratégia de medição e a fixação do OM [46], que serão detalhados nos itens seguintes.

A ação dessas fontes de erros não ocorre de modo independente. As fontes de erro nas medições com a MMC estão interligadas e podem atuar em conjunto umas sobre as outras. A figura 3.1 ilustra a relação entre os diversos fatores, principalmente das influências do ambiente e do metrologista sobre as demais.

O metrologista pode exercer a influência mais crítica na execução da medição, caso ele não atente para um bom planejamento da tarefa de medição, não conheça bem o comportamento da MMC e não esteja ciente das fontes de erro atuantes na medição. O metrologista é também o responsável pela fixação e posicionamento do OM, pela definição da força de apalpação e pela configuração do apalpador, condições estas que podem induzir erros nos resultados da medição se não forem estabelecidos coerentemente [37], [46], [47].

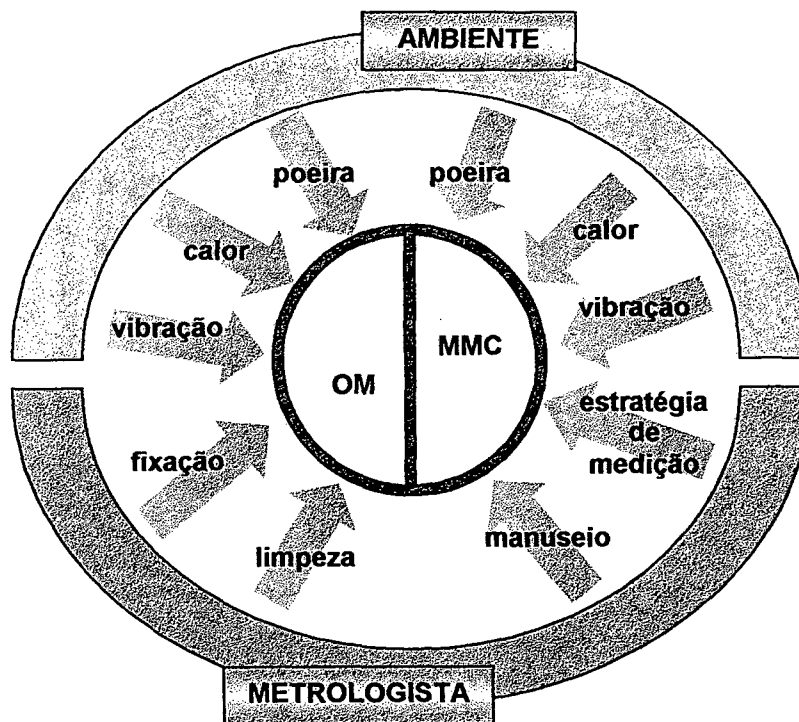


Figura 3.1 – Interação entre fontes de erros: influência do ambiente e do metrologista sobre o objeto a medir e a máquina de medir por coordenadas [41]

Os gradientes de temperatura gerados por fontes de calor podem causar dilatação térmica não homogênea no objeto a medir, induzindo a erros na determinação de sua geometria. O comportamento metrológico da MMC pode ser afetado por condições ambientais desfavoráveis, como vibrações e gradientes de temperatura. A figura 3.2 representa qualitativamente a influência relativa do metrologista, do ambiente e da MMC como fontes de erro no resultado da medição.

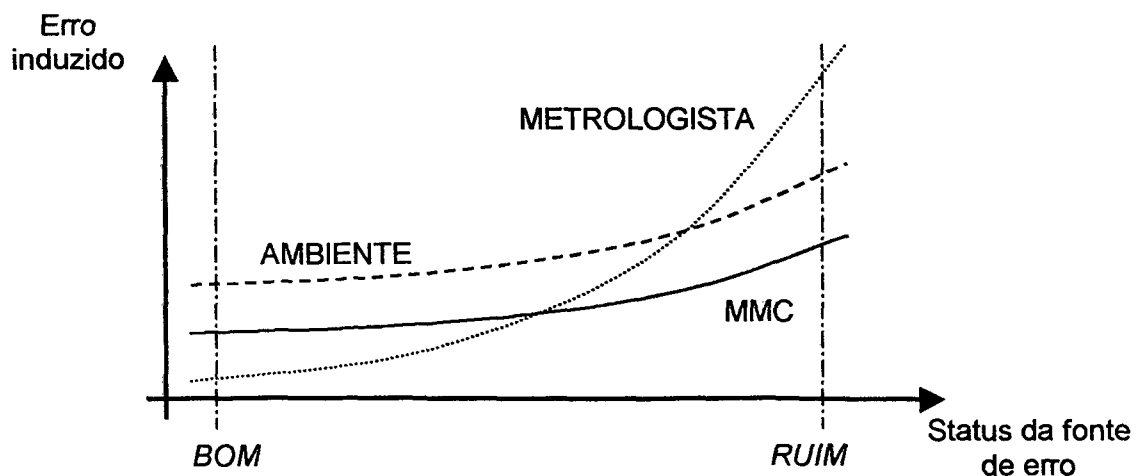


Figura 3.2 – Influência relativa das fontes de erros na medição em MMC [34]

A definição da estratégia de medição pelo metrologista deve ser feita levando-se em conta a geometria do OM e a estratégia de apalpação, entre outros. Tais aspectos podem induzir erros na medição levando a resultados incorretos ou duvidosos. A figura 3.4 ilustra os componentes de erros e desvios que influenciam os resultados da medição obtidos com MMC.

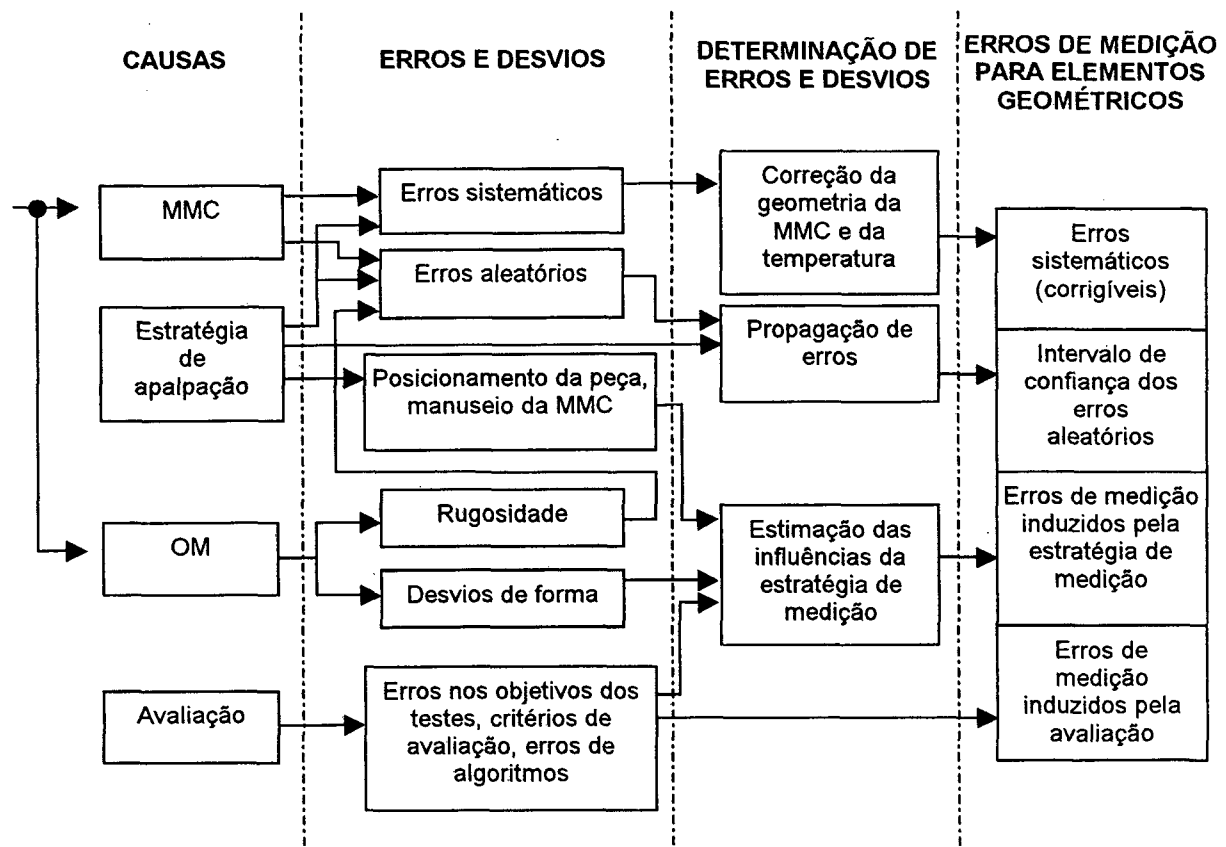


Figura 3.3 – Principais correlações entre as componentes de erros no resultado da medição da MMC; adaptado de Weckenmann [48]

Nos itens seguintes serão descritos individualmente os aspectos críticos atuantes no processo de controle geométrico através da medição por coordenadas.

3.1.1 Metrologista

É importante salientar a necessidade de o metrologista ter o conhecimento de conceitos metrológicos e do comportamento da MMC. Os conhecimentos sobre incerteza de medição e suas fontes, princípio de Abbé, deformações indesejáveis devido ao peso e à fixação do objeto, bem como os aplicados à medição por coordenadas, entre outros fatores (vide item 2.3.4), devem estar claros para o metrologista. Bom senso, conhecimento técnico e honestidade são aspectos

importantes que o metrologista deve cultivar.

3.1.2 Máquina de medir por coordenadas

As fontes de incerteza da MMC podem ser divididas basicamente em três subsistemas: estrutura da MMC, sistema de apalpação e software de medição [40], [49]. Cada subsistema possui várias fontes de erro que podem influenciar no resultado da medição.

A estrutura da MMC é formada pela mesa, estrutura dos eixos e mancais. Esses componentes são responsáveis pela rigidez estática e dinâmica bem como da estabilidade com o tempo da MMC.

Uma das principais fontes de incerteza da MMC é o sistema de apalpação, o que requer cuidados especiais na escolha adequada da configuração do apalpador [50]. As fontes de erros do sistema de apalpação na medição advêm do apalpador (dos dispositivos eletromecânicos internos), do sistema de leitura de posicionamento da MMC, da calibração e da forma de compensação do diâmetro da esfera. A influência da compensação inadequada do diâmetro do apalpador na medição de superfícies de forma livre causa erros na obtenção da representação geométrica das mesmas [51].

O software de medição combina os pontos apalpados das superfícies transformando-os em elementos geométricos. Para isto são utilizados algoritmos matemáticos, os quais podem inserir erros nos resultados apresentados devido a aproximações e truncamentos. Softwares de compensação de erros permitem correções de erros geométricos avaliados em calibrações [1]. Essa compensação de erros viabiliza MMC com baixas incertezas de medição sendo menores que $2\text{ }\mu\text{m} \pm 1$ a $2\text{ }\mu\text{m/m}$ [32].

É importante uma avaliação do valor da incerteza de medição da MMC através da calibração, elemento necessário a comprovação da rastreabilidade metrológica dos resultados.

3.1.3 Ambiente

As influências do ambiente incluem fontes de calor causadoras de variações de temperatura e gradientes temporais e espaciais de temperatura, vibrações

transmitidas à MMC, umidade relativa e poeira ou outras partículas suspensas no ar (figura 3.1) [12], [40], [41], [46].

Dentre as fontes de erro relativas ao ambiente, a influência da temperatura é uma das mais críticas, sendo responsável por influências tanto nas dimensões do OM quanto no comportamento geométrico da MMC. O controle de temperatura deve levar em consideração fatores como disposição dos sensores, tempo de resposta do sistema de regulação da temperatura e análise sobre as condições da direção, da velocidade e da disposição de aberturas de entrada e saída do ar insuflado [12].

Dependendo das condições ambientais estabelecidas na climatização do laboratório de medição por coordenadas, este pode ser enquadrado em 5 classes diferentes (classe 1 a 5) e ainda classe 0, sendo que essa possui requisitos especiais definidos segundo a tarefa de medição. Essas classes são estabelecidas segundo a VDI/VDE 2627 parte 1 [52]. No caso de um laboratório de precisão com classe 1, a temperatura ambiente deve ser de 20°C, respeitando os limites de gradientes de temperatura de 0,2 K/h, 0,4 K/dia e 0,1 K/m (horizontal e vertical) e com umidade relativa entre 30 e 60 % (± 10 %). No caso de um laboratório de classe 5, que está localizado no ambiente fabril, as condições ambientais são menos controladas no que se refere a gradientes de temperatura e umidade relativa [52].

3.1.4 Objeto a medir

Os erros induzidos pelo objeto a medir (OM) no processo de controle geométrico podem estar relacionados aos seguintes fatores:

- **Forma geométrica:** problemas relativos ao acesso à superfície do OM podem prejudicar os resultados devido à reduzida quantidade e distribuição de pontos apalpados [46]. Além disso, um OM de dimensões equivalentes às do volume de medição da MMC pode necessitar de artifícios como concatenação de sistemas coordenados para a medição de cotas e, por outro lado, quando muito pequeno pode haver dificuldade de fixação e estabilidade frente à força de apalpação;
- **Rigidez:** o tipo de material do OM pode necessitar de cuidados extras na fixação, na força de apalpação e na distribuição de pontos sobre a superfície, principalmente de OM com certa instabilidade, isto é, OM flexíveis [5], [46];

- Erros macrogeométricos: dependendo do processo de fabricação do OM, quer seja usinagem, fresamento ou processos de injeção, os desvios geométricos e o grau de acabamento superficial podem provocar dificuldades e erros na determinação do sistema coordenado e das cotas a serem medidas através dele [46], [49]. Assim, quanto piores as condições geométricas do OM e dada a indefinição de superfícies de referência no desenho, maiores as dificuldades de se obter um sistema coordenado que possa ser utilizado coerentemente. No caso especial de polímeros, há a necessidade de um tempo de acomodação após o processo de injeção. Nesse período de acomodação o material pode sofrer variações na sua dimensão, o que pode invalidar o resultado da medição;
- Deformações: o OM pode sofrer deformações elásticas indesejáveis devido ao seu peso e à força de fixação. Também as deformações de origem térmica podem induzir erros na medição (dilatação não homogênea). A compensação de temperatura do objeto, quando não há condições ótimas de estabilização térmica, deve levar em conta a existência de possíveis gradientes de temperatura (devido a espessura e tamanho do OM) e o coeficiente real de expansão térmica do material do objeto;
- Erros microgeométricos: para a medição de um OM com acabamento superficial de má qualidade é interessante o uso de apalpador com esfera de diâmetro maior, bem como que o número e densidade de pontos apalpados na sua superfície seja maior, minimizando o efeito da rugosidade superficial, particularmente importante na definição do sistema coordenado.

A definição de limites para os desvios geométricos através de tolerâncias nem sempre é utilizada pelos projetistas. Definindo-se limites para esses desvios geométricos, pode-se minimizar o problema da definição de referências do OM e minimizar os problemas na definição do sistema coordenado para medições em MMC. A figura 3.4 apresenta as tolerâncias geométricas especificadas para o controle geométrico do OM [53].

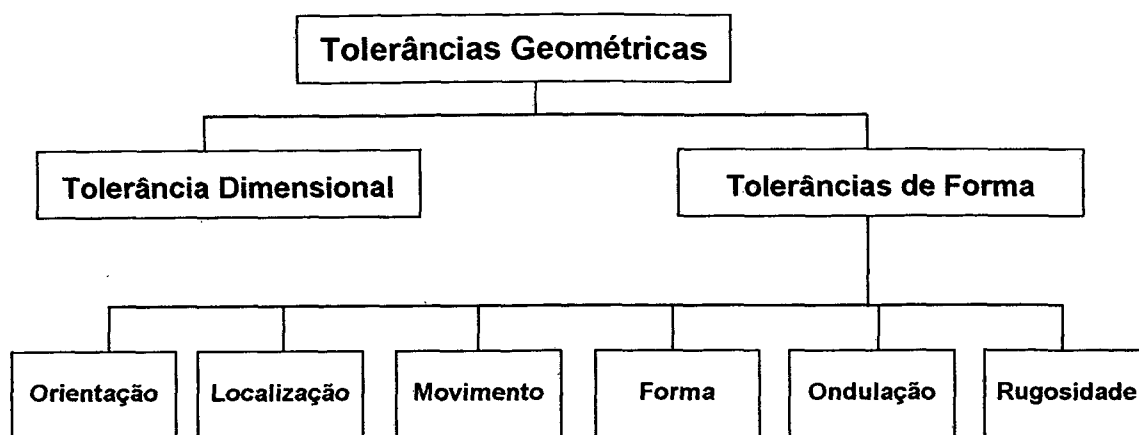


Figura 3.4 – Tolerâncias geométricas [53]

No momento da inspeção do OM, é importante o cuidado de se observar se o OM é produzido em diversas máquinas ferramenta (MF). Isto se deve ao fato de que cada uma das MF induz a erros geométricos diferentes, que estarão refletidos nas peças produzidas. Tal fato é crítico quando as informações da inspeção são utilizadas para ações corretivas na MF.

3.1.5 Estratégia de medição

A estratégia de medição se constitui na determinação do número e distribuição de pontos de apalpação, fixação do OM, uso de filtros e métodos de avaliação de incertezas, entre outros fatores [46]. A seleção de um número reduzido de pontos ou a falta de critério para a distribuição de pontos sobre a superfície pode gerar resultados inadequados. A conscientização da necessidade de critérios para estabelecer estratégias de medição é discutida em diversos trabalhos, porém a diversidade das medições viabilizada pela MMC dificulta essa tarefa [5], [47], [48], [51], [54], [55], [56].

Mais informações sobre o estabelecimento da estratégia de medição serão discutidas no item 'Estabelecimento da Estratégia de Medição' (item 3.2.3).

3.1.6 Fixação do objeto a medir

O OM necessita de suporte estável durante as medições para que se possa obter melhores resultados, sem que haja deformações indesejáveis e deslocamento do OM com a força de apalpação ou movimentação da MMC. Para o OM com geometria complexa, o uso de dispositivos de fixação modulares pode assegurar

excelente suporte e fixação. O uso de dispositivos modulares representa ganho de eficiência e de economia além de garantir suficiente repetitividade em medições seriadas [49], [57]. Para o uso em medições não seriadas, a disponibilidade de dispositivos de fixação rápida permite flexibilidade e rapidez na fixação do OM.

Porém, a fixação pode causar deformações elásticas no OM devido a força aplicada pelos dispositivos, pelo peso do OM ou pelo apoio inadequado em partes flexíveis e instáveis do OM [49]. Atenção especial com a massa e a rigidez do OM também deve ser tomada no momento do planejamento da fixação.

Dessa forma, o planejamento da fixação deve levar em conta o material e a geometria da superfície do OM, número de pontos de contato com a superfície, o centro de gravidade do OM e os dispositivos de fixação disponíveis. A figura 3.5 ilustra alguns exemplos de objetos sendo fixados através de dispositivos especiais de fixação.

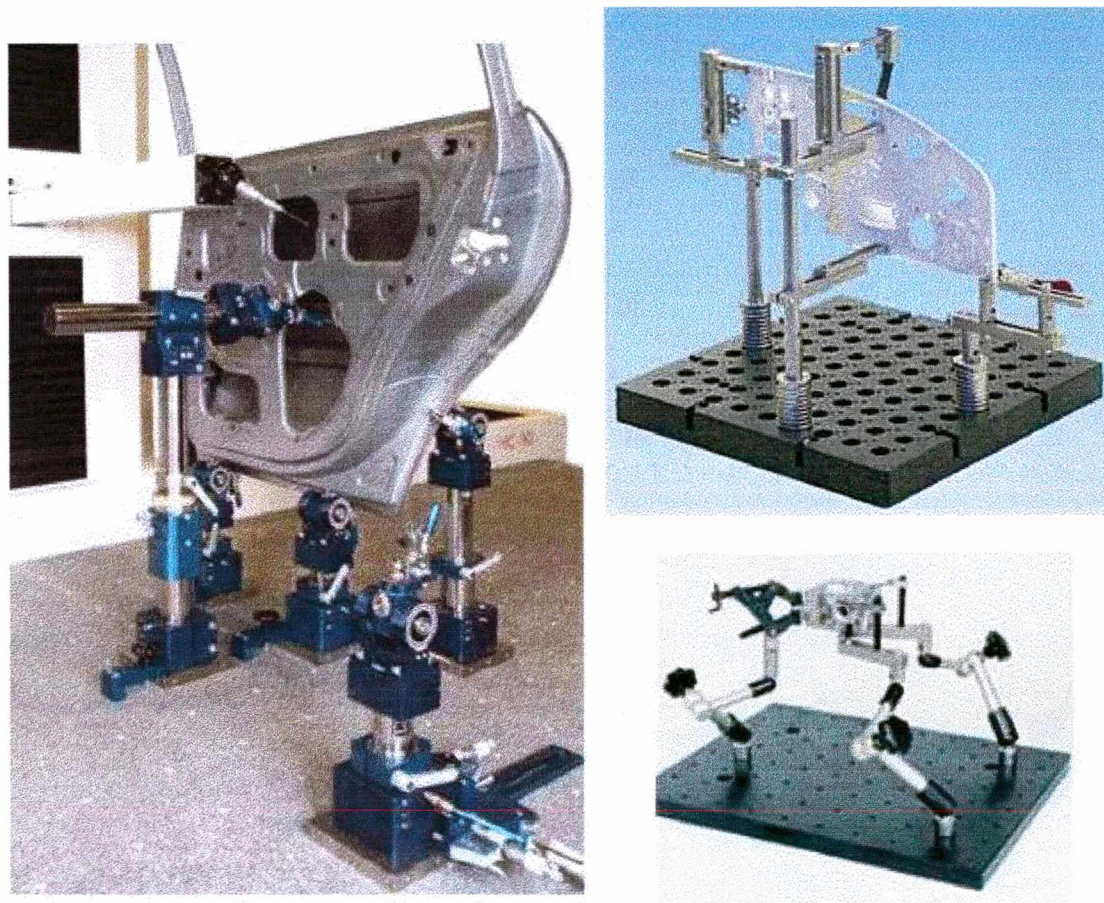


Figura 3.5 – Dispositivos de fixação especiais para peças com geometria complexa

Sempre que possível, é interessante levar em conta no planejamento da fixação o posicionamento do OM. O posicionamento ideal para a medição é a posição de trabalho do OM, que deve ser fixado pelos pontos de fixação e de apoio dele com outros componentes. Desse modo, a medição estará sendo executada na condição mais próxima da real, simulando deformações e tensões no OM similares às condições de trabalho, tornando os resultados mais representativos.

3.2 PLANEJAMENTO DA TAREFA DE MEDIÇÃO

Através da medição obtêm-se dados que caracterizam a geometria ou a dimensão de um objeto num determinado nível de incerteza. Os dados obtidos podem ser utilizados com a finalidade de uma inspeção, de uma calibração, de um ensaio geométrico, de controle de processo, etc. A interpretação dos dados obtidos pode também auxiliar na geração de resultados ou informações que solucione um problema ocorrido com um produto ou processo produtivo (figura 3.6).

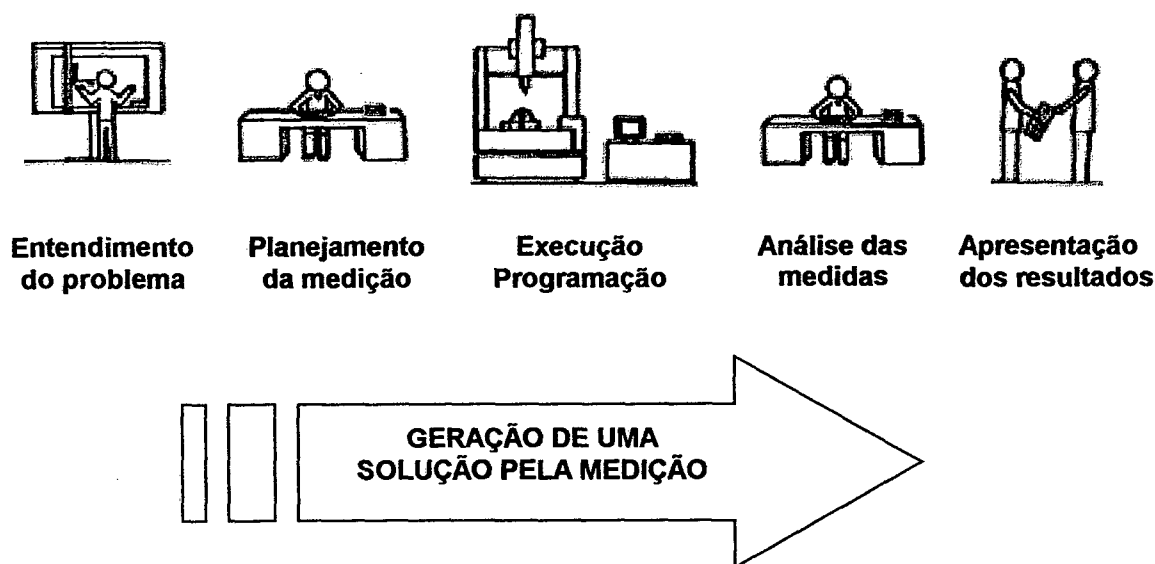


Figura 3.6 – Etapas envolvidas nas medições com MMC

Normalmente, o cliente apresenta um problema que demande medições. O laboratório prestador de serviços busca informações para entendê-lo e, a partir dessas informações, planeja a tarefa de medição. A geração da solução para o cliente depende da qualidade das informações captadas e da confiabilidade da medição.

Um aspecto importante nesse planejamento é a atenção com a confiabilidade

metrológica da tarefa de medição. A relevância desse aspecto se deve ao fato da facilidade de se obter dados numéricos através da medição com a MMC. Desse modo, surgem as seguintes questões:

- Os resultados expressam adequadamente a condição real do OM?
- Os resultados são confiáveis?
- Foi executada uma análise criteriosa das fontes de incerteza na medição?
- Os resultados obtidos servem para alguma coisa?

Para dar suporte a essas questões, são feitas algumas sugestões para a realização eficiente da tarefa de medição nos itens a seguir.

3.2.1 Análise do objeto a medir e do processo de fabricação

O conhecimento das características funcionais e geométricas do objeto a medir (OM), do processo de fabricação e das tolerâncias especificadas para o OM dará todo o balizamento no planejamento da tarefa de medição.

Imperfeições no processo de fabricação geram defeitos na geometria do OM. São imperfeições conseqüentes da existência de erros geométricos nas máquinas ferramenta e nas características particulares de cada processo de fabricação, sendo que essas imperfeições estão refletidas nas peças produzidas. Tais imperfeições podem ser desvios de forma causados por erros de retilineidade e planeza das guias da máquina ferramenta, por exemplo. Dessa forma, o conhecimento das fontes de erros do processo de fabricação contribui para a determinação de medidas que possam representar falhas que interferem na fabricação. A figura 3.7 apresenta algumas orientações baseadas em tipos de material do OM, em características da produção, processo de fabricação e comentários complementares para a inspeção.

Para facilitar a análise dos resultados no relatório de medição, é interessante que a medição seja orientada por grupos funcionais do OM, como por exemplo, cadeia de furos de fixação, rebaixos para montagem de componentes, etc. Esse procedimento facilita a localização dos dados na análise e na avaliação das medidas com as especificações de tolerâncias. Conhecida a funcionalidade e os pontos funcionais do OM, a verificação da forma e da dimensão dos elementos geométricos a medir orienta a determinação dos pontos de fixação e as regiões de apalpação.

ORIENTAÇÕES PARA O ESTABELECIMENTO DO PLANO DE MEDIÇÃO									
Aspecto considerado	OM unitários	OM seriados (lotes pequenos)	OM seriados (lotes grandes)						
material – tipo de peça	aço, alumínio (revolução, prismáticas)	aço, peças forjadas, laminados	fundidos, alumínio, temperados, forjados	laminados, soldados, colados, rebitados	plásticos, diversas formas	perfis (laminados, tubos, plásticos)	vidros, plano	perfil, prensados	
máquina – ferramenta – processo de fabricação	MF isoladas (dispositivos de rotação e revolução)	MF isoladas; dispositivos de entrada e saída de peças	linha transfer, de centros usinagem; dispositivos para soldagem e colagem, material	máquinas de soldagem, robos para soldagem e colagem, rebiteadeiras	de injetoras, conformação, rotomoldagem, e sopro	dobradeiras, máquinas de soldagem	conformação na forma final, corte	prensas hidráulicas e excêntricas	
comentários	peça única: atender requisitos de trabalho; cuidar com pequenas seções	peça única: atender requisitos de trabalho;	peça piloto: atender os requisitos de trabalho; modificações na fundição	peça piloto – para grandes conjuntos, proteção e apoio para soldagem e colagem	try-out: atender tempo de resfriamento (pós-processo), e armazenamento	peça piloto – para grandes conjuntos estabelecer apoios na forma da peça	peça piloto: armazenamento antes da manutenção	peça piloto: armazenamento até o resfriamento ou estabilização	
observações na medição	medir todas as peças do conjunto; verificar montagem das peças	↓ 10 peças, medição 100%; acompanhar desenho da peça e conjunto	mínimo de 5 peças; desenho da peça bruta e trabalhada; relatório de correspondência	mínimo de 3 peças; desenho da peça ou dados de inspeção da montagem	mínimo de 3 peças; desenho da peça ou dados de inspeção da montagem	mínimo de 2 peças; desenho da peça ou dados para medição do laminado	mínimo de 2 peças; desenho da peça ou dados do perfilador	mínimo de 2 peças; desenho da peça ou dados de inspeção da montagem	

Figura 3.7 – Orientações para a medição de objetos segundo processos de fabricação e material dos objetos

A incerteza de medição deve ser coerente com as tolerâncias das características a serem medidas no OM. Idealmente busca-se uma relação em que a incerteza de medição seja dez vezes menor que o intervalo de tolerância. No entanto, isto nem sempre é respeitado ou viável economicamente. As consequências da incerteza de medição ser representativa em relação ao intervalo de tolerância na inspeção de peças estão relacionadas aos custos devido à classificação de conformidade incorreta, podendo induzir prejuízos elevados à indústria.

3.2.2 Plano de medição

O plano de medição consiste na descrição das características a serem medidas num objeto, segundo análise de sua geometria e objetivos da medição. Para a elaboração do plano de medição em medição por coordenadas, buscou-se como referência a elaboração de planos de controle orientados a inspeção (figura 3.8).

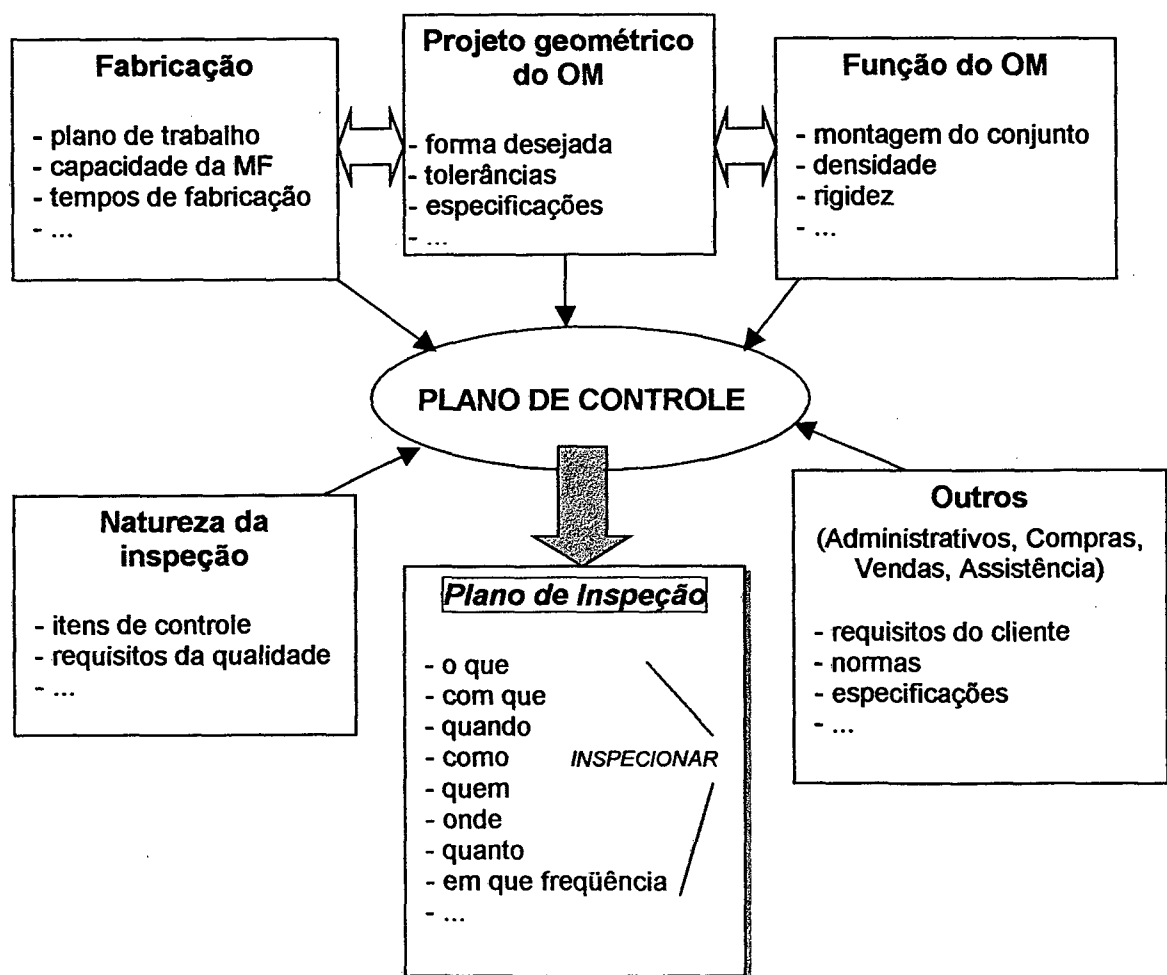


Figura 3.8 – Interações para a elaboração do plano de controle [5]

Planos de controle são descrições de características para o controle de peças e de processos [8]. Para a sua elaboração são levados em conta dados dos processos de fabricação, do controle de qualidade e do projeto. Estando definidas as características e agrupadas segundo grupos funcionais, o plano de controle estabelece a seqüência da medição bem como a freqüência de inspeção, como será inspecionado o OM, com que sistema de medição será medido, entre outras.

A seqüência da medição definida no plano de medição está orientada a grupos funcionais. A identificação do elemento geométrico medido pode ser facilitada se forem mencionadas as vistas ou cortes em que se encontram no desenho. Além do fato de estarem agrupados segundo a sua funcionalidade, a marcação do número de seqüência, definido no plano de medição, sobre o desenho auxilia o metrologista na rápida identificação do elemento no OM [58], [59]. A figura 3.9 ilustra um exemplo em que são marcadas as características a serem medidas e sua seqüência de medição.

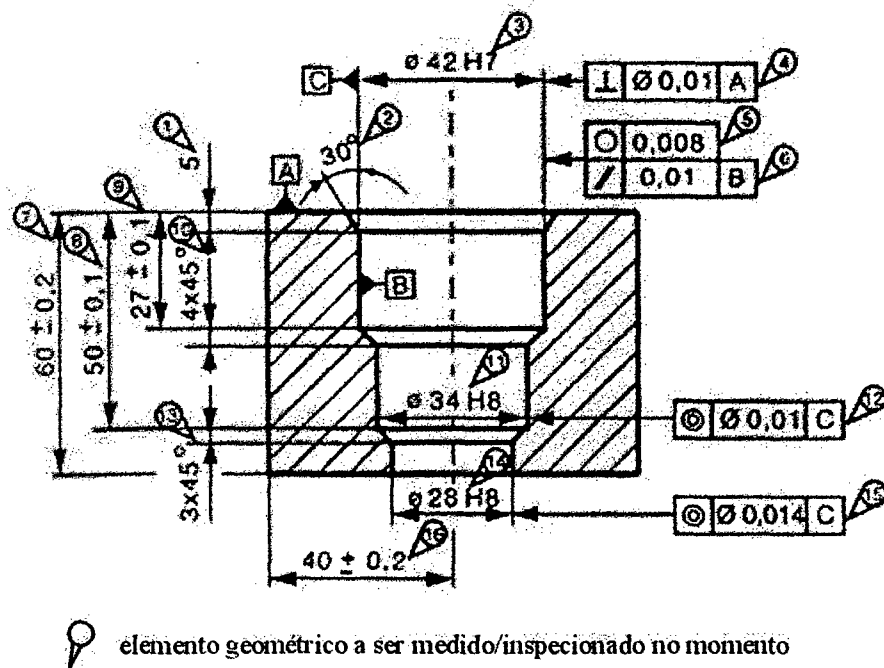


Figura 3.9 – Orientação das características geométricas para a medição [58]

Como os resultados da medição podem ser utilizados não somente para uma inspeção (podem ser utilizados para calibração, ensaios, etc.), a elaboração do plano de medição nem sempre necessita a inclusão de todas as informações ou critérios observados no plano de controle. O conteúdo do plano de medição deve

estar de acordo com as necessidades e objetivos a serem alcançados com os resultados das medições.

Desse modo, de acordo com a análise feita sobre o objeto, o plano de medição deve prever, ou ao menos sugerir, medições adicionais às características que serão medidas em superfícies que apresentem erros geométricos mais acentuados. Isso contribui para que o resultado da medição possa caracterizar melhor a faixa de variação da dimensão do objeto. Sempre que possível, é interessante que se faça mais de uma medição por característica, principalmente em casos de objetos de material flexível ou com acabamento superficial grosseiro. Sendo o mensurando variável (variações do mensurando são maiores que a repetitividade do sistema de medição), é justificável que se faça mais de uma medida para caracterizá-lo.

3.2.3 Estabelecimento da estratégia de medição

Após o entendimento do objeto a medir (OM) e definidas as características a serem medidas no plano de medição, o próximo passo é o estabelecimento da estratégia de medição.

A geometria real de um objeto pode ser caracterizada pela medição gerando, como resultado, uma geometria medida do objeto. O resultado dessa medição é representado por um valor nominal e sua respectiva incerteza de medição. A diferença entre os valores da geometria real e da geometria medida caracteriza os erros da medição, sendo que uma das fontes de erros é a estratégia de medição.

Dessa forma, atenção especial na definição da estratégia de medição é fator fundamental para que não se comprometa a confiabilidade dos resultados da medição. Os diversos parâmetros estabelecidos na estratégia de medição podem induzir a erros se não definidos coerentemente devido a interação entre os mesmos (figura 3.10). No sentido de orientar o metrologista na definição dos parâmetros da estratégia de medição segundo uma sequência e observando as implicações de erros dos parâmetros, são apresentadas informações e cuidados a serem tomados [5].

O estudo preliminar das características geométricas do OM revela as superfícies que serão tomadas como referência para o sistema coordenado do OM. A quantidade de pontos depende das condições do acabamento superficial do OM. Quanto pior o

acabamento superficial, maior o diâmetro da esfera do apalpador e maior a quantidade e a dispersão dos pontos apalpados. Esse procedimento permite uma amostragem melhor das condições do OM, porém se o acabamento superficial das superfícies de referência não forem boas, o sistema coordenado apresentará variações consideráveis que podem gerar erros nas medidas do OM. As superfícies de referência devem ser discutidas e definidas em conjunto com os responsáveis pelo projeto, tornando mais consistente o resultado da medição.

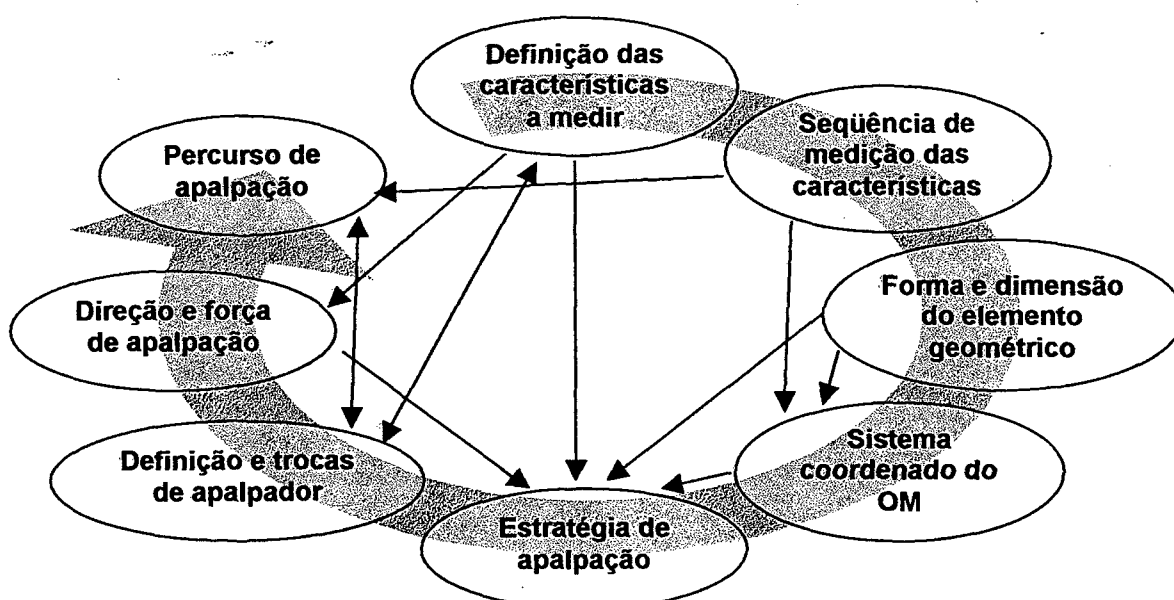


Figura 3.10 – Sequência e interação entre os principais parâmetros para o estabelecimento da estratégia de medição; adaptado de Weckenmann [5]

A configuração dos apalpadores e os parâmetros de apalpação são definidos segundo a forma e a posição do elemento geométrico a ser medido, definindo o tipo de apalpador, o uso de prolongador, o diâmetro da esfera do apalpador, a força de apalpação e o percurso do apalpador. Em OM com geometria complexa é comum a necessidade da troca e reposicionamento de apalpadores para facilitar o acesso a elementos que estão em direções diferentes.

O número mínimo e a posição dos pontos a serem tomados para cada elemento geométrico medido dependem do algoritmo matemático utilizado pelo software de medição da MMC e da qualidade da superfície do OM. Bom senso e experiência do metrologista auxiliam nessa definição tendo sempre em mente o compromisso de confiabilidade metrológica.

Para medições em superfícies de forma livre, cuidados especiais devem ser tomados na compensação do diâmetro da esfera e na direção de apalpação, fatores que podem ser críticos na caracterização do OM. O sistema coordenado para superfícies livres preferencialmente deve ser estabelecido o mais próximo do elemento medido.

3.2.4 Relatório de medição

O relatório de medição basicamente tem a formatação do plano de medição sendo importante que apresente informações sobre o OM, a MMC, os parâmetros da medição, as condições ambientais, as compensações realizadas, a incerteza de medição e dados complementares que possam ser convenientes [40]. Com essas informações e as análises sobre os resultados, o relatório de medição deixa de ser um depósito de números e transforma-se numa ferramenta útil na geração de soluções e ações corretivas sobre produto ou processo produtivo.

As informações sobre os parâmetros da medição são importantes dados que relatam as condições em que foram executadas as medições, permitindo ao metrologista verificar a necessidade de correções e rastrear os dados com maior segurança. Dentre os principais parâmetros estão a definição do sistema coordenado, configurações de apalpador usadas, diâmetros das esferas dos apalpadores, dados sobre a variação da temperatura durante a medição e o tipo de compensação realizada.

A avaliação da incerteza de medição para todas as características medidas não é uma tarefa fácil de ser feita, principalmente quando o OM possui muitas características a medir e tolerâncias geométricas. A incerteza específica para cada característica medida na MMC pode ser estimada através de relações obtidas com a incerteza de medição da MMC determinada em calibração [60]. A figura 3.11 relaciona os limites de erro para diferentes desvios geométricos medidos com uma MMC, contemplando a maioria das situações de medição em MMC. Determinada a incerteza de medição da MMC para a medição de uma característica, as demais fontes de incerteza na medição podem ser estimadas e calculada a incerteza combinada e expandida segundo recomendações do guia para a expressão da incerteza de medição [61].

Segundo Hernia [60], são apresentadas algumas orientações para facilitar a estimativa do erro de medição para medições específicas em MMC:

- O erro da medição não é maior que a componente variável L/K da incerteza de medição da MMC, sendo L a dimensão máxima do objeto em mm;
- O erro de posição é no máximo duas vezes maior que a componente variável L/K , sendo o maior valor quando o elemento medido é maior ou está mais distante do sistema coordenado de referência;
- O desvio de forma não é maior que o quádruplo da componente variável L/K [60].

Nos casos citados anteriormente, o fator L/K é proveniente da expressão da incerteza de medição da MMC (do certificado de calibração) expressa pela equação:

$$E = (A + \frac{L}{K}) \mu m$$

onde:

- A é a constante independente do comprimento medido;
- L/K é o fator dependente da dimensão medida, sendo L a dimensão medida (em mm).

Informações adicionais ao relatório de medição como as condições geométricas das superfícies de referência, coeficientes de expansão térmica do material do OM e observações sobre as condições gerais ou particularidades do OM que possam ter influenciado nos resultados podem ser também informados.

LIMITES DE ERROS DE DESVIOS GEOMÉTRICOS		
Característica a ser medida	Limite de erro	Observações
comprimento, distância, posição de centro de diâmetro em um plano	$\Delta L \leq \frac{L}{K}$	L é o valor nominal da característica, tal como dimensão teórica da tolerância de posição
posição em 3D	$\Delta L \leq \frac{I}{K} \cdot \sqrt{L^2 + I^2}$	L é o valor teórico da tolerância de posição; I é o maior valor nominal diagonal do elemento
concentricidade como simetria entre 2 pontos	$\Delta LK \leq \frac{D}{2K}$	D é o valor nominal de um diâmetro, tal como a largura
coaxilidade como simetria em um plano	$\Delta LK \leq \frac{1}{K} \cdot \sqrt{\frac{D^2}{4} + L^2}$	D é o valor nominal de um diâmetro, tal como a largura L é a dimensão nominal do menor comprimento
paralelismo (inclinação de eixo) e rotação (rolamento, guinamento e tombamento)	$\Delta LP \leq \frac{2L}{K}$	L é o menor valor nominal de comprimento de elementos medidos, tal como a distância vertical de 2 elementos (o maior elemento é a referência)
perpendicularidade	$\Delta LR \leq \frac{2L}{K}$	L é o valor nominal de comprimento da menor variação de ângulo (o maior comprimento é a referência)
inclinação	$\Delta LN \leq \frac{2L}{K} \cdot \sin \alpha$	I é o valor nominal do comprimento do lado oposto do ângulo (o maior elemento é a referência) α é o valor nominal do ângulo
desvio de ângulo (medida de arco)	$\Delta \alpha \leq \frac{2}{K} \cdot \sin^2 \alpha$	α é o valor nominal do ângulo
planeza	$\Delta FE \leq \frac{I}{K} \sqrt{5I^2 + L^2}$	I, L são os valores nominais do menor e do maior lado do plano
circularidade	$\Delta FR \leq \frac{\sqrt{26}}{2} \frac{D}{K}$	D é o valor nominal do diâmetro
cilindricidade	$\Delta FZ \leq \frac{1}{K} \sqrt{\frac{58}{4} D^2 + 2L^2}$	D é o valor nominal do diâmetro L é o valor nominal do comprimento

Figura 3.11. – Orientações para auxílio da estimativa de incertezas na medição com MMC [60]

3.3 RECURSOS TECNOLÓGICOS

A flexibilidade, a versatilidade e a universalidade da máquina de medir por coordenadas (MMC) tornam-na uma ferramenta essencial na medição de produtos de geometria complexa. O advento da eletrônica e da computação tem garantido a MMC pacotes de acessórios cada vez mais sofisticados e abrangentes para o usuário. Dentre os recursos tecnológicos disponíveis estão:

- a integração ao ambiente fabril;
- a compensação de erros geométricos da MMC;
- a programação *off-line* da medição;
- a disponibilidade de dados com interface para programas de CAD;
- a disponibilidade de softwares de medição capazes de medir formas livres e digitalizar peças;
- a melhoria da interface entre o usuário e a MMC.

Em consequência desses recursos, o usuário desfruta da redução dos tempos de medição, da rápida realimentação do processo produtivo através dos dados da inspeção e da redução de custos de inspeção e de falhas causadas por erros de classificação de conformidade de produtos.

3.3.1 Softwares de medição e interfaces gráficas

O desenvolvimento dos sistemas de CAD/CAE/CAM e de máquinas ferramenta numericamente controladas tem contribuído para a crescente complexidade e sofisticação dos produtos. Para atender as necessidades de inspeção de qualidade desses produtos, a diversidade e a especialização dos softwares de medição da MMC vêm ganhando incentivos [4], [12].

A diversidade de funções dos softwares de medição da MMC facilita a tarefa de medição do operador. A medição de objetos com a MMC pode ser feita manualmente ou de modo automático. No modo manual, o operador comanda a MMC na movimentação e tomada de pontos de medição, podendo ser através de *joy stick* ou por acionamento manual (o operador conduz o sistema de apalpação).

A medição de objetos realizada de modo automático, ou seja, através de programas

de medição, pode ser dividida em quatro diferentes tipos de programação: por aprendizado, em ambiente CAD, em ambiente da MMC e programação flexível da tarefa de medição, sendo que as três últimas permitem programação *off-line* [2], [5].

- Na programação por aprendizado o software de medição da MMC grava as movimentações e apalpações que o operador conduz, repetindo-as a seguir. Tal programação não é viável para inspeção geométrica em chão de fábrica, sendo mais adequada para medições em laboratórios [2].
- A programação em ambiente CAD permite a redução da perda de tempo de programação na MMC, aumentando o seu tempo produtivo. Também oferece ao usuário a medição de formas livres e digitalização de peças com o auxílio da comunicação com softwares como CATIA, UNIGRAPHICS, CADDs, IDEAS, PROEngineer através de formatos padronizados, como VDA, IGES e STEP [42]. Exemplo de sistema integrado entre o software de medição de MMC e sistemas CAD é o Audimess [5]. Há a possibilidade de programação *off-line* através de linguagem universal orientada a inspeção, a NCMES (Numerically Controlled Measuring Evaluation System), porém não apresenta interesse maior dos usuários, devido ao seu estágio inicial de integração [2].
- A programação em ambiente do software de medição da MMC é via de regra extremamente dedicado ao software de medição e ao CNC do fabricante [2], porém sua utilização contribui para a redução de tempos improdutivos da MMC. Exemplos de sistemas integrados segundo os diversos fabricantes de MMC são: HELP (DEA), QUINDOWS (Leitz), MFT-Prog (Zeiss), Geopak (Mitutoyo) e MAHRMESS (Mahr) [5].
- A programação flexível da tarefa de medição se constitui em programas básicos orientados a famílias de peças (por exemplo, blocos de motor, bielas, placas padrão para cerâmicas, etc.), permitindo ajustes no programa de medição de modo a se adequar às novas dimensões da peça [5].

3.3.2 Integração com a manufatura e a inspeção

A integração da MMC com a manufatura permite que os dados obtidos na inspeção com a MMC estejam disponíveis para a tomada de decisão corretiva ou preventiva sobre o processo produtivo. Em produção de grandes séries isto pode ser de grande

valia, pois agiliza a transmissão da informação e reduz o tempo de ação sobre a causa da falha, podendo induzir benefícios econômicos à essa integração [10], [11].

A integração da MMC ao ambiente de chão de fábrica pode ocorrer de três formas diferentes: conjugada à máquina ferramenta, integrada ao processo de fabricação e estar próxima ao processo de fabricação [10]. Na primeira forma, o sistema de medição se encontra incorporado à máquina ferramenta, realimentando-a com resultados obtidos com a inspeção imediatamente após a fabricação. Na segunda, o sistema de medição e a máquina ferramenta estão fisicamente separados, mas permitem medir a peça e comparar os resultados com as especificações, possibilitando os ajustes necessários na máquina ferramenta. Na terceira forma o sistema de medição é usado para a inspeção de amostras pré-definidas de várias etapas do processo de fabricação, introduzindo as correções necessárias [10].

Também a programação *off-line* da tarefa de medição viabiliza ganhos de produtividade da MMC, conseguidas através das formas de programação da medição descritas no item anterior. Após a execução da medição, dados estatísticos (CEP) estão disponíveis para os setores de projeto e manufatura via rede de computadores de comunicação interna [42].

3.4 BENEFÍCIOS ECONÔMICOS

Em virtude dos mais variados recursos tecnológicos disponíveis para a medição com MMC, os benefícios econômicos podem ser grandes comparados aos métodos convencionais de medição. Apesar dos benefícios conseguidos com a utilização da MMC nas medições (figura 3.12), pode-se introduzir maiores tempos de medição devido à repetição de medidas e definição incorreta da estratégia de medição. Os benefícios apenas serão conseguidos se a MMC for utilizada coerentemente e com consciência da atividade de medição por parte do técnico metrologista.

A redução de custos de inspeção devido à classificação errônea de conformidade do produto depende das tolerâncias do produto e das incertezas de medição da MMC. Na indústria a relação entre intervalo de tolerância e incerteza de medição nem sempre é favorável à segurança, o que exige maior atenção na avaliação de incerteza de medição das características medidas (ver item 3.2.4).

ANÁLISE COMPARATIVA DAS TÉCNICAS DE MEDIÇÃO GEOMÉTRICA	
CONVENCIONAL	POR COORDENADAS
alinhamento manual e demorado da peça	não é necessário alinhamento manual da peça
instrumentos dedicados e pouco flexíveis	flexibilidade e adaptação simples às tarefas de medição
comparação dos resultados com padrões	comparação dos resultados com modelos matemáticos
determinação separada de dimensões, erros de forma e posição, com diferentes instrumentos de medição	determinação conjunta de dimensão, forma, e posição, na maior parte das vezes, numa única montagem
dificuldade de integração em ambientes automatizados	possibilidade de integração em ambientes com automação flexível
menor confiabilidade em tarefas complexas	maior confiabilidade em tarefas complexas
maior tempo de inspeção em grande quantidade de peças	menor tempo de inspeção em grande quantidade de peças (possibilidade de programação CNC)

Figura 3.12 – Vantagens resultantes, na maioria dos casos, do uso da TMC no controle geométrico de peças com geometria complexa [32]

Além das vantagens econômicas da tecnologia de medição por coordenadas, o *know how* e a competência do laboratório permitem estudos e análises mais profundos sobre o problema do cliente. A disponibilidade de uma boa infraestrutura do LPS em medição por coordenadas pode induzir a resultados com maior confiabilidade em medições complexas e agregar maior valor ao resultado gerado.

A exemplo do Laboratório de Medição por Coordenadas do Centro de Metrologia e Inovação em Processos da Fundação CERTI, a infraestrutura laboratorial disponível para a geração de soluções para o cliente compreende a manutenção de um sistema de qualidade eficiente, um corpo técnico capacitado e treinado, a geração de metodologias e de conhecimento tecnológico através de projetos e pesquisas, equipamentos sofisticados, laboratórios com climatização rigorosa, o credenciamento junto a RBC (Rede Brasileira de Calibração), calibrações periódicas de padrões e instrumentos, constante atualização de hardware e software da MMC, entre outros.

A infraestrutura do laboratório aliada a competência dos colaboradores oferecem resultados com maior valor agregado, contemplando informações úteis para o cliente e não se limitando a repassar apenas dados numéricos nos relatórios de medição.

CAPÍTULO 4

PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO DO FLUXO DE INFORMAÇÕES E DAS ATIVIDADES NOS SERVIÇOS DE MEDIÇÃO POR COORDENADAS

A necessidade de sistematizar as atividades e as informações dos serviços de medição por coordenadas surge das dificuldades conseqüentes da ineficiência da comunicação entre o cliente e o Laboratório Prestador de Serviços (LPS). De modo geral, os serviços de medição necessitam de maior tempo de preparação e planejamento da tarefa de medição em comparação aos serviços de calibração. Devido à falta de procedimentos relativos a medição, cada solicitação de serviço precisa ser estudada cuidadosamente para então ser elaborada uma proposta de serviço. Essa proposta deve contemplar as necessidades do cliente e ser economicamente vantajosa para o LPS.

A eficiência da captação de informações junto ao cliente sobre o serviço de medição é essencial para o bom andamento do planejamento da medição e para a geração de informações úteis à solução do problema do cliente através da medição. Para que este fluxo de informações possa contribuir para a geração da solução, existe a dependência do grau de sistematização das atividades internas e da competência do LPS. A situação descrita é esquematizada na figura 4.1.

A elaboração de procedimentos rígidos pode dificultar o andamento das atividades e prejudicar a operacionalização dos mesmos. Para facilitar a operacionalização das atividades, a sistemática de trabalho deve ser simples, flexível e sua aplicação deve ser acompanhada de aperfeiçoamento contínuo [43]. A proposta de sistematização

dos serviços de medição por coordenadas apresenta-se em módulos de atividades gerais e específicos, de modo a otimizar o fluxo de informações relativas ao serviço.

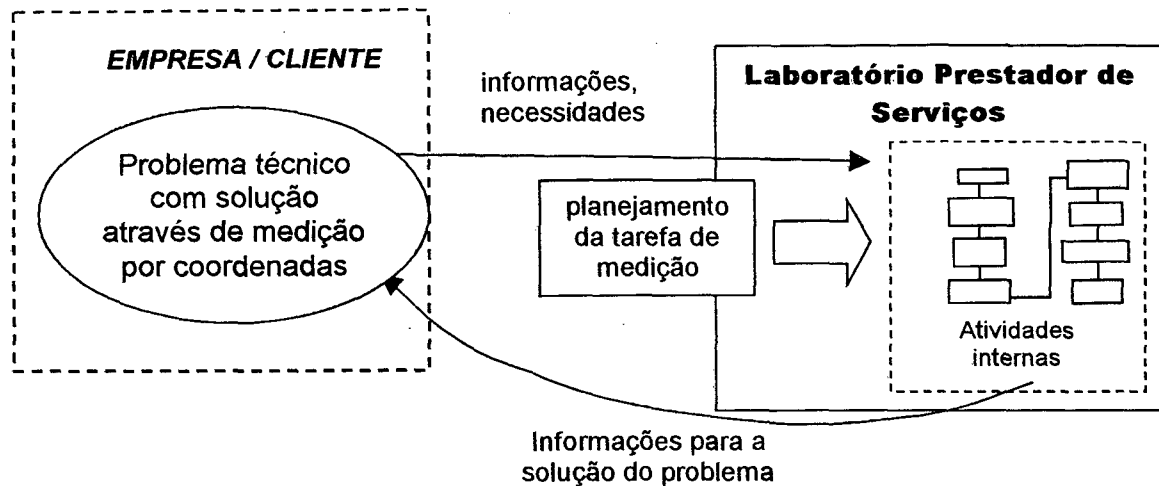


Figura 4.1 – Cenário da necessidade da sistematização de informações e de atividades

4.1 SISTEMÁTICA DE TRABALHO EM LABORATÓRIO PRESTADOR DE SERVIÇOS

A dinâmica de trabalho nos laboratórios prestadores de serviços para a realização de serviços de calibração ou de serviços de medição apresenta etapas similares (figura 4.2). No caso de serviços de calibração, seja de medidas materializadas ou de instrumentos de medição, a existência de procedimentos de calibração pré-definidos e normalizados tornam a sua realização mais sistêmica e ágil [62], [63].

Verifica-se que são várias as etapas e atividades para que se realize a medição do objeto. O tempo despendido na execução da medição do objeto é, muitas vezes, pequeno em relação aos tempos envolvendo coleta e apresentação de informações, estudo e preparação da tarefa de medição.

No caso de serviços de medição não há condições de se ter procedimentos prontos para a realização de todo tipo de serviço. Normalmente, o que se encontra são instruções generalizadas, sem, no entanto, orientar o metrologista de forma eficiente.

As etapas mais críticas para o serviço de medição são o momento da avaliação da capacidade de atendimento, a execução do orçamento financeiro e técnico do serviço, a preparação e execução da medição e a análise e a apresentação dos resultados da medição. Essas etapas (serão apresentadas como fases do fluxo de

informações – item 4.5) requerem maior atenção e são essenciais para a obtenção de resultados úteis ao cliente.

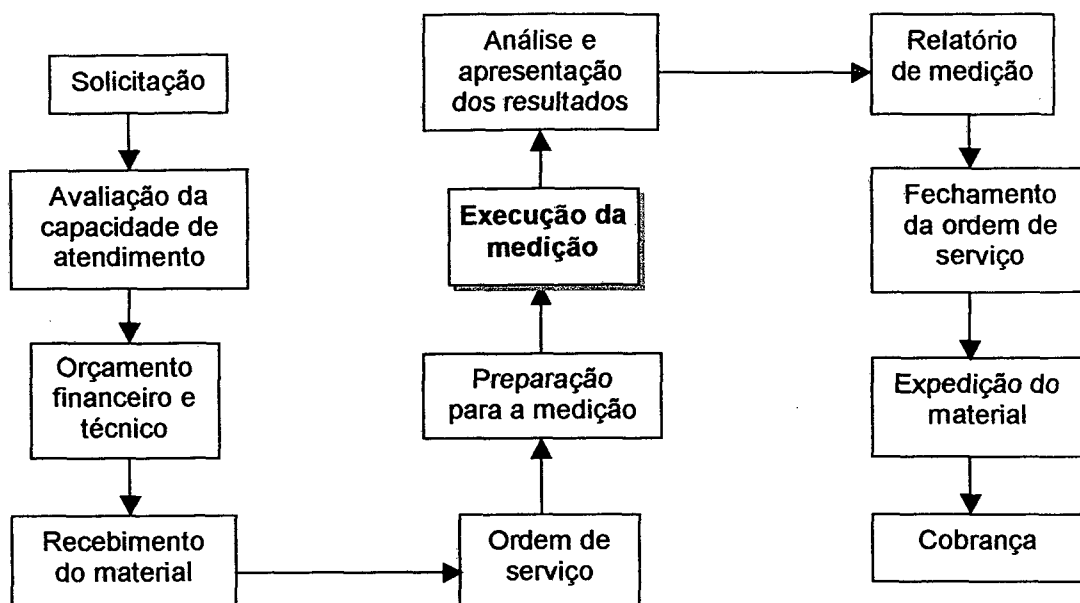


Figura 4.2 – Atividades de um serviço de medição quando realizado por laboratório de medição por coordenadas independente

Com base em ferramentas da qualidade, como o 5W1H, procurou-se dar embasamento às relações de informações e atribuições de atividades a sistemática de trabalho (figura 4.3).

QUESTÃO	INSTRUMENTO DE AUXÍLIO
WHY (por que) →	cliente, lista de verificação
WHAT (o que) →	roteiros para orçamentação
HOW (como) →	base de informações para medição
WHERE (onde) →	} cronograma de serviços (utilização da MMC)
WHEN (quando) →	
WHO (quem) →	horário/disponibilidade dos operadores

Figura 4.3 – 5W1H: atribuições e organização das atividades

A figura 4.3 ilustra a organização das atividades e suas atribuições através de instrumentos de auxílio ao metrologista executor do serviço. Tais instrumentos são a lista de verificação, roteiros para orçamentação (Roteiro Técnico e Roteiro para Estimativa de Tempos) e as bases de informações para medição, que serão detalhados nos próximos itens.

4.2 A IMPORTÂNCIA DA INFORMAÇÃO

A tecnologia de informação desempenha papel fundamental na elaboração de estratégias de negócios e desenvolvimento de atividades das empresas. Assegura-se o desenvolvimento da organização com a compreensão ampla da seqüência das tarefas do processo de gestão da informação. Estas são definidas pela identificação de necessidades e requisitos, coleta, classificação e armazenamento, tratamento e apresentação, distribuição e disseminação e análise e uso da informação [64]. Orientando-se nessas condições, desencadeou-se o estudo que pudesse oferecer subsídios a sistematização nos serviços de medição.

O controle e a organização das informações coletadas e geradas no serviço de medição de um LPS constitui-se em conhecimento tecnológico e oferece condições de buscar novas soluções para a indústria.

4.3 PROPOSTA DE SISTEMATIZAÇÃO DOS SERVIÇOS DE MEDIÇÃO

A proposta de sistematização procura suprir as deficiências constatadas no fluxo de informações e orientar as atividades necessárias para a eficiente realização do serviço de medição. Instrumentos de auxílio são propostos para orientar o metrologista na tarefa de entender o problema de medição do cliente e na execução das atividades de orçamentação e de medição.

A relação entre as fases do fluxo de informações com as atividades envolvidas no serviço de medição pode ser observada no organograma da figura 4.4. No organograma observam-se as questões de orientação de cada fase para a obtenção de informação ou determinando-se atividades.

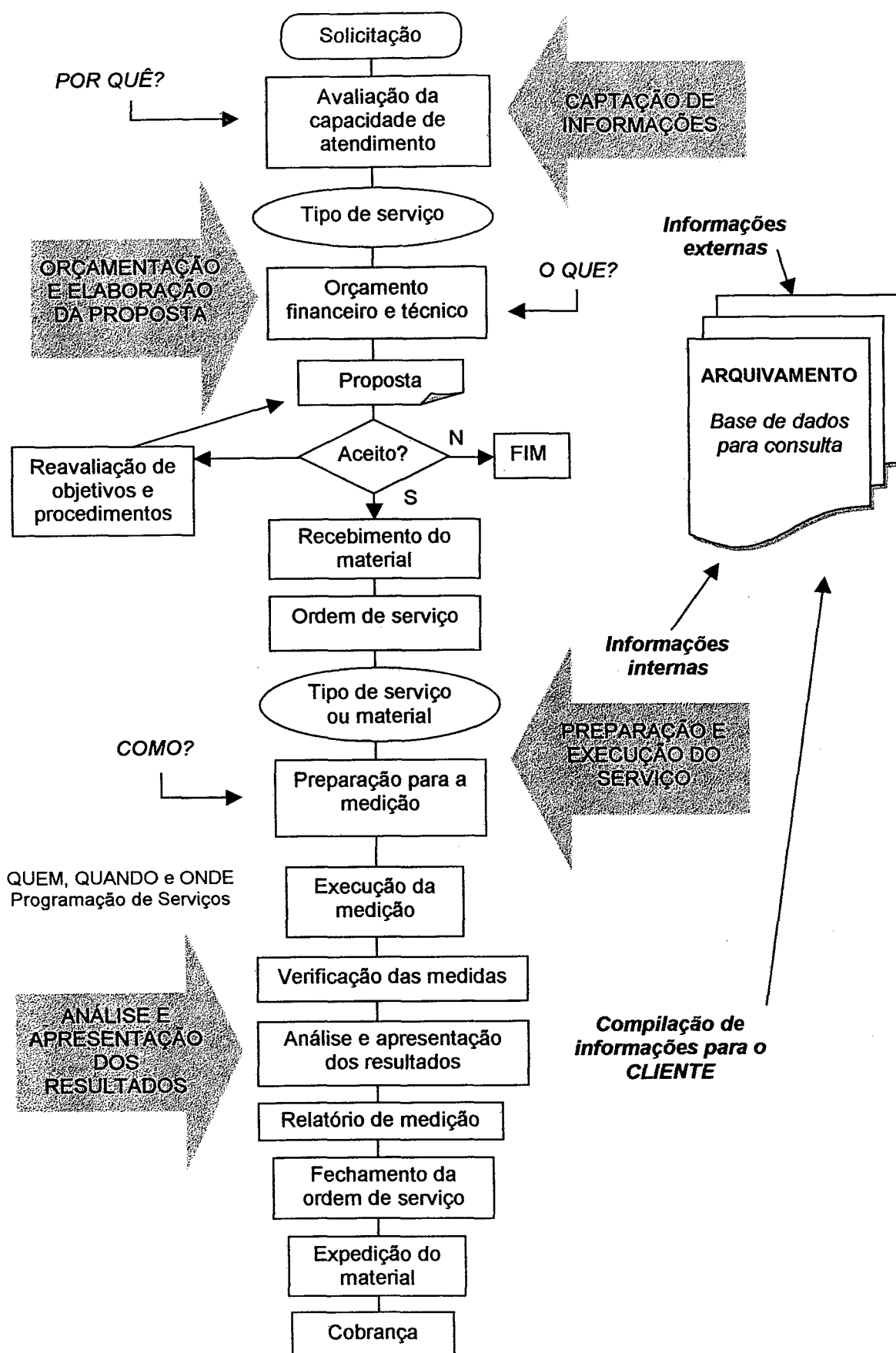


Figura 4.4 – Fluxograma da sistemática de trabalho

Um procedimento único que pudesse atender a todos os serviços ficaria amplo e superficial, com informações que, ou não seriam utilizadas, ou não estariam adequadamente contempladas no procedimento. Procedimentos completos e específicos para cada situação ou serviço de medição deixariam o LPS com um número enorme de procedimentos, bem como estaria fadado a não suprir completamente todas as situações.

O estabelecimento de módulos de atividades visa um ponto ótimo entre as duas opções. Atividades comuns aos diversos serviços são orientadas por módulos de atividades gerais. Módulos de atividades específicas orientam o metrologista a coletar informações e executar tarefas focadas ao serviço em questão através de instrumentos de auxílio.

Uma base de dados absorve novas informações, anotações, fotos (do objeto ou da fixação) e conhecimentos adquiridos, constituindo-se em rica fonte para consultas durante a execução de novos serviços. A documentação permite aos metrologistas consultas sobre experiências anteriores e contribui para aumentar o *know-how* do LPS na solução de problemas de medição em medição por coordenadas.

A definição e a lógica de utilização dos módulos de atividades e do fluxo de informações serão detalhadas nos itens seguintes.

4.4 MODULARIZAÇÃO DA SISTEMÁTICA DE TRABALHO

Com intuito de atender as questões de agilidade, flexibilidade e objetividade na captação de informações e na execução do serviço, a sistematização dos serviços de medição foi desenvolvida em módulos de atividades. Esses módulos podem ser de atividades gerais ou específicas, como pode ser observado na figura 4.5.

As atividades gerais constituem-se de atividades realizadas indiferentemente do tipo de serviço realizado. Dentre elas pode-se citar a captação de informações básicas do cliente (informações técnicas do objeto e operacionais para o LPS), recebimento e expedição de material, abertura e fechamento de ordem de serviço e emissão de proposta e cobrança.

As atividades específicas estão vinculadas ao tipo de serviço de medição, sendo orientadas por Roteiros para Orçamentação (Roteiro Técnico e Roteiro para Estimativa de Tempos) e de procedimentos focados para o metrologista executar a

orçamentação e a elaboração da proposta. O planejamento da tarefa de medição (item 3.2) e as Bases de Informações para medição norteiam a preparação e a execução da medição. A elaboração do relatório de medição está vinculada ao plano de medição estabelecido e às informações coletadas na orçamentação.

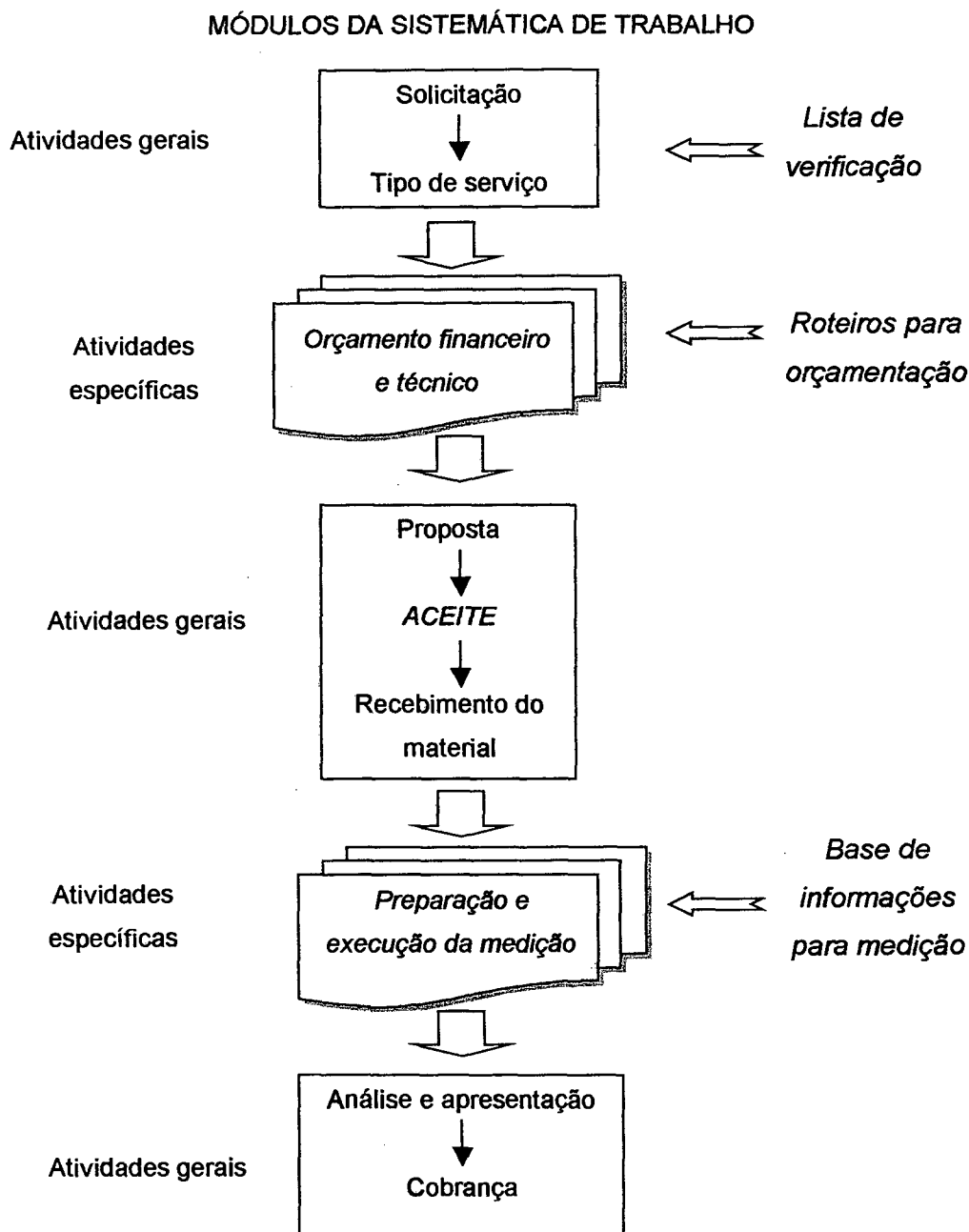


Figura 4.5 – Lógica da modularização da sistemática de trabalho orientada pelas bases de informações

No momento da solicitação do serviço são coletadas as informações básicas sobre o objeto e identificada a razão da medição. Essas informações orientam o metrologista

a definir o tipo de serviço.

Segundo a metodologia proposta, os tipos de serviços que possuem roteiros para orçamentação são os serviços de medição de peças em geral, de peça padrão, de engrenagens, de digitalização e de medições baseadas em CAD. O Roteiro Técnico possui questões específicas para cada serviço, buscando esclarecer os requisitos técnicos para a medição do objeto. Assim, o metrologista saberá responder ‘*o que medir?*’ e o ‘*por que medir?*’ na elaboração da proposta do serviço. O Roteiro para Estimativa de Tempos orienta o metrologista a estimar os tempos necessários para executar a elaboração da proposta, a execução da medição e a elaboração do relatório de medição segundo parâmetros específicos para cada tipo de serviço de medição.

Com o esclarecimento dos dados técnicos e realizada a estimativa de tempos, uma proposta de serviço é encaminhada ao cliente.

Para a execução da medição, o metrologista busca orientações específicas em uma Base de Informações para Medição, procurando assim saber ‘*como medir?*’. Na metodologia proposta, essa Base de Informações (BI) pode ser encontrada de acordo com o tipo de serviço e/ou com o tipo de material do objeto. No tipo de serviço estão definidas BIs para medição de peça padrão, de engrenagens, de digitalização, entre outras. No caso de tipo de material do objeto, as BIs estão definidas em polímeros, fundidos, metais, vidros, borrachas, entre outras. A informação contida nessas BIs auxilia o metrologista a elaborar o plano de medição e a tomar cuidados especiais na medição dependendo das características do objeto.

No caso da preparação e execução da medição, pode-se encontrar um exemplo de medição de engrenagem fabricada em material plástico. Nesse caso, orientações para essa medição podem ser encontradas nas BIs para medição de engrenagens e na de polímeros. Tal condição demonstra flexibilidade da sistematização na execução do serviço.

A medida em que o laboratório receba determinados serviços mais freqüentemente, ou seja, faça medições repetidas sobre um mesmo objeto (dispositivo de controle, engrenagens de dentes retos e/ou helicoidais ou painel plástico), pode-se elaborar procedimentos específicos para esses serviços, ficando a cargo do LPS segundo a sua conveniência, atentando-se para que realmente possam otimizar a execução do

serviço.

A análise das medidas e a elaboração do relatório de medição estão vinculadas com o plano de medição e com as necessidades do cliente expressas na proposta do serviço emitida.

4.5 O FLUXO DE INFORMAÇÕES

O fluxo de informações foi dividido em quatro fases, sendo que cada fase é orientada por um instrumento de auxílio para a realização das atividades envolvidas, como pode ser observado na figura 4.6.

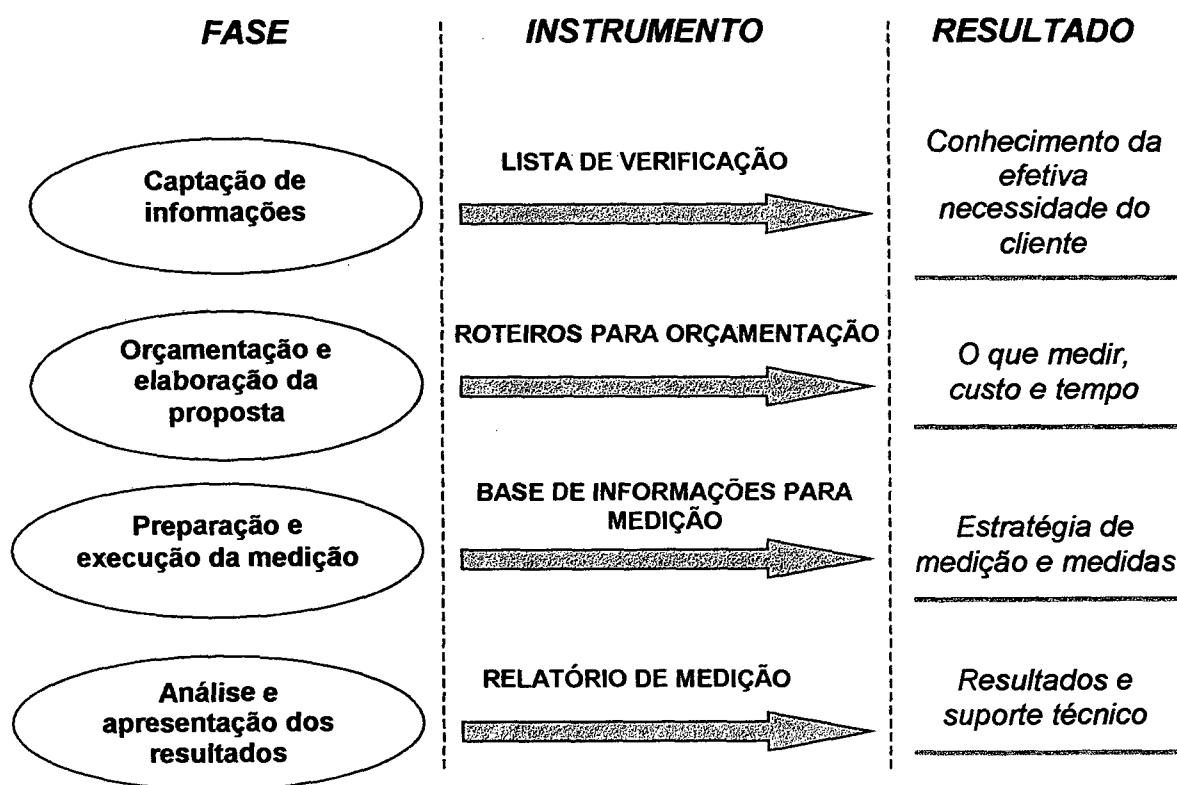


Figura 4.6 – Fases do fluxo de informações e seus instrumentos de auxílio

Os instrumentos de auxílio viabilizam a organização das informações relevantes ao serviço e orientam o metrologista a definir coerentemente o planejamento da tarefa de medição.

Na primeira fase são conhecidas as necessidades do cliente relativas a medição e as informações básicas sobre o objeto a medir por meio de uma lista de verificação

de informações. Nessa fase procura-se caracterizar o problema de medição do cliente e a razão da medição.

Na segunda fase, dependendo do tipo de serviço de medição em que se enquadra o serviço solicitado, Roteiros para Orçamentação específicos são utilizados para esclarecimento de critérios técnicos e definição de estimativas de tempos do serviço. A identificação clara das características a serem medidas e a estimativa de tempo e custos para a execução do serviço são os objetivos da fase. A proposta de serviço é então elaborada e enviada ao cliente.

Aceitando-se a proposta, a terceira fase apresenta recursos orientando o metrologista de como será executada a medição para a obtenção das medidas. Há uma Base de Informações para Medição com informações específicas para o planejamento da tarefa de medição segundo o tipo de serviço e/ou tipo de material do objeto.

Na quarta fase orienta-se a análise e apresentação dos resultados, bem como de avaliações de incerteza de medição e de tolerâncias segundo a categoria (conteúdo de informações) do relatório de medição requerida pelo cliente.

O detalhamento das atividades relacionadas às fases do fluxo de informações é objeto dos próximos itens.

4.5.1 Captação de informações junto ao cliente

Essa fase se caracteriza pela captação de informações sobre o problema de medição do cliente, sobre as características do objeto a medir (OM) e quais os motivos que o levam a realizar a medição. A caracterização do problema de medição nem sempre é conseguida de forma clara e objetiva. É essencial que o LPS tenha condições de captar informações que serão relevantes, sem que haja excessos de informações vagas e sem valor, as quais só trariam confusão e desentendimento na execução da medição. As condições para a compreensão das reais necessidades do cliente estão descritas no item 'A qualidade dos Serviços' (item 2.4).

Para auxiliar o LPS na captação das informações para o serviço junto ao cliente, uma lista de verificação (com questões básicas) orienta o metrologista a identificar com maior clareza e objetividade o OM (figura 4.7).

IDENTIFICAÇÃO DA TAREFA	
Medições 3D – Lista de verificação	
Parâmetros	Informações
razão da medição	
função do objeto	
material do objeto	
massa do objeto	
processo de fabricação	
dimensões maiores do objeto	
número de objetos a serem medidos	
incertezas de medição requeridas ou intervalo de tolerância mais crítico	
existência de estratégia de medição prescrita	
resultado a ser gerado: <ul style="list-style-type: none"> - categoria do relatório de medição (Expresso, Básico ou Analítico); - avaliação de tolerâncias; - gráfico (CAD); - outros. 	
prazo de entrega	

Figura 4.7 – Exemplo de uma lista de verificação para captação de informações

Estas são as primeiras informações sobre o OM e a partir delas, o LPS tem condições de avaliar rapidamente se é capaz de realizar o serviço de medição. Parâmetros como volume de medição insuficiente, incerteza de medição não compatível, entre outros, podem vir a impedir o LPS de realizar o serviço de medição.

4.5.2 Orçamentação e elaboração da proposta

Para a elaboração da proposta de serviço é necessário que se faça uma análise sobre critérios técnicos e sobre estimativas de tempos e assim orientar a estimativa de custo do serviço.

As informações necessárias para a realização de um orçamento técnico encontram-se no Roteiro Técnico. Como já mencionado anteriormente, cada tipo de serviço (serviços de medição de peças em geral, de engrenagens, de peça padrão, de digitalização, etc.) possui um roteiro específico com questões orientadas ao serviço.

Dessa forma, evita-se perda de tempo com informações e detalhes sobre a medição que não estão relacionados com o serviço em questão. A figura 4.8 ilustra um exemplo de Roteiro Técnico para serviços de medição de peças em geral.

QUESTÕES PARA ORIENTAÇÃO TÉCNICA			
Roteiro Técnico – Medição de peças em geral			
Critérios técnicos		OK ou ??	Informação técnica e observações
Gerais	Função do objeto		
	Processo de fabricação		
	Acabamento superficial		
	Cadeia de montagem dos objetos		
	Material do objeto: flexível (deformável); frágil; rígido		
	Tamanho do objeto		
	Massa do objeto		
Desenho	Tolerâncias do desenho:		
	- Lineares		
	- Forma		
Estratégia De Medição	- Posição		
	Incerteza de medição requerida (intervalo de tolerância)		
	Número de objetos a serem medidos		
	Fixação do objeto: dispositivo especial devido à forma?		
	Número de ciclos de medição		
	Planos de referência: (no desenho ou recomendação)		
	- Primário		
	- Secundário		
	Origem do sistema coordenado		
	Tarefa de medição (o que medir):		
Resultados	- Definição clara das cotas no desenho		
	- Referências gerais (sistema coordenado único?)		
	- Cotas com referências locais indicadas?		
	- Estratégia de medição definida pelo cliente		
	Prazo de entrega (necessidade do cliente)		
	Avaliação de conformidade de tolerâncias		
	Relatório de medição (categoria) / Certificado de calibração (RBC, CERTI)		
	Resultados gráficos (CAD, desenhos esquemáticos)		

Figura 4.8 – Exemplo de Roteiro Técnico para serviços de medição de peças em geral

Com o Roteiro Técnico, o metrologista é orientado a esclarecer as características a serem medidas, o grau de dificuldade da medição e as possíveis dúvidas do serviço seguindo a sequência e marcando aqueles que não estão definidos claramente.

Reunidas as dúvidas, o metrologista procura esclarecê-las com o cliente, tomando nota das novas informações. Essa prática visa contribuir para que as atividades do metrologista sejam realizadas de modo ágil e objetivo. É interessante o uso do roteiro para que não haja dúvidas sobre o que deve ser medido durante a execução da medição. O surgimento de dúvidas obriga a interrupção das medições, deixando a MMC parada e improdutiva até a eliminação das dúvidas.

Para os serviços de medição solicitados em que não haja condições de razoável entendimento da tarefa de medição através das informações e de desenhos, pode ser oportuna a presença do cliente no momento da medição. Esta prática é interessante, pois o cliente apresenta as características do objeto a serem medidas, sem que haja problemas de não atendimento às suas expectativas. Dúvidas surgidas durante a medição podem ser esclarecidas imediatamente, sem prejudicar o andamento do serviço.

Após o esclarecimento dos critérios técnicos do serviço, um Roteiro para Estimativa de Tempos com questões orientativas para a estimativa de tempos relacionados à execução do serviço é utilizada pelo metrologista, como ilustra a figura 4.9.

O acompanhamento de vários serviços de medição apresentou relações de tempo gasto por característica medida (cota do desenho) bastante diferente entre si. A exemplo, pode-se citar serviços executados em que foram necessários 3 minutos para cada característica medida e em outro serviço de medição 13 minutos por característica medida. No primeiro caso foram medidas 27 características em cerca de 80 minutos e no segundo caso, 3 características medidas em cerca de 40 minutos. A cronometragem dos tempos foi iniciada na definição do sistema coordenado finalizando na medição da última característica. É evidente que no segundo caso o grau de dificuldade era maior e, aliada à dificuldade, a medição exigiu duas trocas de apalpador para que as três características fossem medidas.

QUESTÕES ORIENTATIVAS PARA A ESTIMATIVA DE TEMPOS					
Roteiro para Estimativa de Tempos – Medição de peças em geral					
Parâmetros para a estimativa de tempos		Aplicação do critério (Sim/Não)	Frequência do critério (qtde)	Tempo estimado (min)	Observações
Proposta	Entendimento da problemática				
	Elaboração da proposta				
	Custo hora metrologista				
	Custo hora MMC				
Execução de medição	Preparação				
	Desmontagem/montagem do objeto				
	Fixação do objeto				
	Montagens e trocas de apalpador				
	Calibração do apalpador				
	Dificuldade da medição: - acabamento superficial				
	- cavidades internas (difícil acesso)				
	- elementos complexos (várias funções por cota)				
Relatório de medição	Ciclo de medição por posição/fixação: - Alinhamento				
	- Medição (número de cotas)				
	Análise dos dados				
	Elaboração do relatório				
	Elaboração de gráficos				
	Tratamento dos dados em outros softwares (CAD)				
	Avaliação de tolerâncias				
Total das estimativas dos tempos		Estimativa de custos			
Preparação		Preparação			
Execução da medição		Execução da medição			
Relatório de medição		Relatório de medição			
Outros		R\$/tempo de medição			
TOTAL		TOTAL			

Figura 4.9 – Exemplo de Roteiro para Estimativa de Tempos para serviços de medição de peças em geral

Para a orientação do grau de dificuldade e tempo de execução da medição, um quadro com informações qualitativas é demonstrado na figura 4.10. A partir dessas relações e com informações das características do objeto a medir, o metrologista tem um instrumento de auxílio para estimar os tempos para execução da medição.

RELAÇÃO ENTRE OS PRINCIPAIS PARÂMETROS DA MEDIÇÃO							
Parâmetros da medição	Acabamento superficial			Geometria		Material	
	Grosso	Médio	Fino	Interna	Externa	Flexível	Rígido
Preparação/limpeza	↑↓	↓	↑↓	↑↓	↓	↑↓	↓
Fixação	↑↓	↓	↑	↑↓	↓	↑	↓
Sistema coordenado do objeto	↑	↑↓	↓	↑↓	↓	↑	↓
Montagens e trocas de apalpador	↓	↓	↓	↑	↑↓	↑↓	↓
Existência de cavidades internas (difícil acesso)	↑	↑↓	↑↓	↑	↑↓	↑	↑↓
Elementos complexos (medição com várias funções da MMC por cota)	↑	↑	↑↓	↑	↑↓	↑	↑
Material rígido	↑↓	↓	↓	↑↓	↓		
Material flexível	↑	↑↓	↑↓	↑	↑		
Geometria interna	↑	↑↓	↑↓				
Geometria externa	↑	↑↓	↓				

Níveis/relações de dificuldade: ↑ - forte/crítica; ↑↓ - média; ↓ - fraca

Figura 4.10 – Quadro orientativo para estimativa de tempos segundo a dificuldade dos critérios para a execução da medição

Com a noção do tempo necessário para a execução do serviço, pode-se estimar o custo do serviço e elaborar a proposta do serviço para o cliente. O custo do serviço está relacionado com os custos de manutenção, o volume de serviços do LPS e o valor de mercado aceito ou praticado para a medição. Não é intenção apresentar nesse trabalho um modelo de custos para LPS em medição por coordenadas. São apresentadas aqui as principais componentes de custo consideradas para indicar o valor da hora do metrologista e da MMC para a execução de serviços. Dentre as principais componentes de custo do LPS estão os gastos com a climatização, a manutenção dos equipamentos, o material de consumo (limpeza e conservação de objetos e padrões), os encargos salariais e tributários, as calibrações de padrões de serviço executadas interna e externamente ao laboratório, o credenciamento a redes metrológicas, as auditorias e a manutenção do sistema da qualidade, os treinamentos, a aquisição e a depreciação de equipamentos e atualizações de softwares e hardwares.

4.5.3 Preparação e execução do serviço

A preparação da medição através das atividades do planejamento da tarefa de medição, descritas no item 3.2, promove o ganho de produtividade na execução da medição. No momento em que o OM é acomodado na MMC, o metrologista deve estar consciente da tarefa de medição, ou seja, ele deve saber exatamente quais as características devem ser medidas e ter uma noção de como medi-las.

Se o metrologista não planejar eficientemente a medição, pode correr o risco de interromper a medição devido a alguma dúvida e atrasar os demais serviços agendados no cronograma de serviços do LPS. Tal condição inviabiliza conciliar produtividade e qualidade, prejudicando a competitividade do LPS.

Nessa fase do fluxo de informações há o segundo módulo de atividades específicas, de acordo com a sistematização proposta. Para auxiliar o metrologista no planejamento da tarefa de medição, além das informações coletadas na orçamentação, está disponível uma Base de Informações (BI) para medição segundo o tipo de serviço e/ou o tipo de material do objeto. A figura 4.11 ilustra um exemplo de BI contendo informações para o auxílio ao metrologista nas medições de objetos produzidos em polímeros.

Para cada BI são descritos pontos críticos na medição, estabilidade do OM segundo sua rigidez ou espessura de parede, condição de apalpação segundo as características de acabamento superficial ou deformação elástica, procura de pontos ideais e indicações sobre pontos de verificação de erros geométricos de superfícies, entre outros. A medida em que novas situações são enfrentadas e novos conhecimentos são adquiridos, a BI deve ser atualizada para que não se percam informações.

4.5.4 Análise e apresentação dos resultados

Essa fase é responsável pelo relato das condições do objeto medido e pela indicação de informações que possam contribuir para a solução do problema técnico enfrentado pelo cliente.

ORIENTAÇÕES PARA A PREPARAÇÃO E A EXECUÇÃO DA MEDIÇÃO		
Base de Informações para Medição – Polímeros		
Aspectos considerados		Informações para a medição
OM	superfície de referência	superfícies maiores para planos principais (quantidade de pontos significativa), observar definições de desenho, funcionalidade, fixação e direções das cotas mais críticas/maior número (minimizar erros de alinhamento)
	estabilização/resfriamento	tempo de acomodação do objeto após injeção, há possibilidade de alteração dos valores da medição
	erros de forma, empenamentos	cuidados com influência nos erros geométricos de empenamentos causados por armazenamento ou parâmetros de injeção inadequados → pontos tomados em maior número e bem distribuídos
	acabamento superficial	quanto pior o nível de acabamento, maior o diâmetro do apalpador, maior número de pontos tomados
	rigidez da peça, pontos de fixação	evitar força excessiva na fixação, fixação em pontos reforçados e maior massa ou em pontos de montagem de conjunto de peças; apalpador de diâmetro maior para OM rígidos e menor para OM flexíveis
	sujeira / impurezas sobre a superfície	diâmetro do apalpador maior, força de medição levemente maior (em OM rígidos)
	rechupes	resfriamento do material em paredes mais espessas, evitar tais regiões para apalpação (ondulações e distorções superficiais)
	cantos vivos / raios de arredondamento, rebarbas	difícil determinação em objeto bruto (sem rebarbamento), em objetos rebarbados há possibilidade de alteração dimensional significativa devido ao lixamento
	presença de bolhas, injeção incompleta	parâmetros de injeção inadequados, OM pode apresentar distorção na estabilização após injeção, evitar superfícies próximas, observar efeito de distorções nas superfícies próximas
Estratégia de Medição	fixação, apoio	dispositivos adequados em pontos de maior rigidez, pontos de montagem ou fixação com outros objetos, OM flexíveis fixados em situação de maior momento de inércia
	verificação geométrica (pontos de verificação do estado do OM)	pontos para determinar a geometria geral realmente encontrada (planeza, perpendicularidade e paralelismo de superfícies) conhecendo sua influência na determinação de erros na obtenção de sistemas coordenados ou dimensões do OM
	configuração do apalpador	evitar hastes finas para prolongadores, diâmetro do apalpador menor para OM delgados
	apalpação	força, direção segundo a normal da superfície (superfícies livres), número e densidade de pontos tomados na superfície (↑ rugosidade)
	compensação do raio	compensação segundo direção normal à superfície – efeitos de ponto apalpado real com pretendido,
	superfícies livres/curvas	cuidados com compensação do apalpador, referências preferencialmente locais bem definidas, densidade maior de pontos
MMC	volume de medição	possibilidade de colocação/medição do OM sobre o desempenho
	força de medição	possibilidade de alteração segundo condições do OM
	região de menor incerteza	medição sob condições mais rigorosas, necessidade de baixa incerteza de medição

Figura 4.11 – Exemplo de Base de Informações para medição de objetos plásticos

Dependendo da razão da medição e do interesse do cliente em obter informações adicionais, o relatório pode conter informações básicas sobre a medição ou conter, além dos dados numéricos, análises criteriosas sobre o OM através das medidas obtidas, agregando maior valor aos resultados. Dessa forma, caracterizam-se três categorias de relatório de medição que, de acordo com a complexidade das informações repassadas, induzem a custos diferenciados ao serviço de medição:

- **Relatório de Medição Expresso:** contém informações elementares sobre a medição do objeto. Limita-se à apresentação das medidas, incerteza de medição geral para as medições e informações principais das condições da medição (temperatura ambiente, incerteza da MMC, por exemplo), geralmente sendo resultado de um ciclo de medição e sem análise posterior dos resultados obtidos.
- **Relatório de Medição Básico:** contém informações básicas sobre a medição do objeto, a estratégia de medição e a geometria do objeto, contemplando análise criteriosa de incerteza de medição e as condições da medição (correções efetuadas, variação de temperatura, incerteza da MMC, número de ciclos de medição realizados, etc.).
- **Relatório de Medição Analítico:** este relatório pode conter informações mais específicas, segundo análises elaboradas sobre as medidas obtidas, as características do OM e do processo de fabricação do mesmo. Dentre as informações apresentadas nesse relatório de medição estão a avaliação de conformidade com especificações de tolerâncias, avaliação de características funcionais e geométricas do objeto e sua relação com os erros do resultado da medição, definição de sistemas coordenados (sugestões sobre sistemas de referência do objeto e cotação do desenho) e avaliação de intervalos de tolerância compatíveis com a capacidade do processo. As informações contidas nesse relatório de medição induzem soluções para o problema técnico apresentado pelo cliente.

A estrutura do relatório está vinculada à categoria do relatório de medição e ao plano de medição, onde são estabelecidas as características medidas (e a sequência de medição das mesmas). Essa estruturação facilita a localização de dados, agilizando a análise e a elaboração do relatório de medição.

CAPÍTULO 5

CONSOLIDAÇÃO PRÁTICA DA SISTEMÁTICA

A implementação de uma solução ou de um procedimento precisa passar por etapas de melhoramentos e de validação final. Após a realização de experimentos, podem ser necessários ajustes e adaptações para então ser aplicada a implementação operacional definitiva [65].

A sistemática de trabalho passou por várias ações de melhoramentos à medida em que novos serviços foram realizados e novas dificuldades foram enfrentadas. A execução destes serviços permitiu aperfeiçoamento de modo iterativo da sistemática de trabalho, buscando maior eficiência e tornando-a mais operacional, mesmo frente a diversidade característica dos serviços de medição.

Este capítulo apresenta os objetos medidos que deram suporte ao estudo segundo suas características físicas e sua complexidade. A contribuição de cada objeto medido para a sistematização das atividades é detalhada em item correspondente a cada uma das quatro fases do fluxo de informações.

Os trabalhos experimentais foram realizados em dois laboratórios, sendo eles o Laboratório de Medição por Coordenadas do Centro de Metrologia e Inovação em Processos da Fundação CERTI e o Laboratório de Medição por Coordenadas da Escola Técnica Federal de Santa Catarina, ambos localizados em Florianópolis.

5.1 APRESENTAÇÃO DOS OBJETOS MEDIDOS SEGUNDO A METODOLOGIA

São apresentados seis objetos cujos serviços de medição representam um bom espectro da problemática estudada, oferecendo suporte para o aperfeiçoamento e aplicação da metodologia. A descrição desses objetos ressalta a dificuldade enfrentada para a sua execução, contribuições para a metodologia, características funcionais e físicas, bem como de aspectos importantes pertinentes ao controle geométrico dos mesmos.

Dentre os serviços apresentados, as medições do cabeçote de extrusão plástica, do dispositivo de controle de assentos e da carcaça de motor elétrico se constituem em aplicações que auxiliaram o aperfeiçoamento da metodologia, em seu estágio inicial de estudos. Já os casos da chapa estampada e do braço de calibração de dinamômetros são exemplos relacionados a não realização do serviço, trazendo contribuições para o tempo de dedicação na elaboração da proposta. O caso da medição dos painéis de caixas eletrônicos se constituiu na aplicação mais completa e é abordado em maiores detalhes.

5.1.1 Cabeçote de Extrusão Plástica

O cabeçote de extrusão plástica, usado na fabricação de perfis plásticos, é responsável pela regulação da espessura do perfil extrudado (figura 5.1). O objeto a medir em aço tem as dimensões de 470 x 256 x 200 mm.

A necessidade do cliente neste serviço de medição era o conhecimento da geometria interna do objeto, que não possuía desenho técnico com as dimensões internas nem as respectivas tolerâncias. A medição das características internas do objeto apresentava dificuldade devido à acessibilidade e ao acabamento de má qualidade das superfícies internas. Este serviço de medição foi executado em fase inicial da definição da estrutura da sistemática de trabalho e viabilizou várias ações de melhoramento a partir dos problemas enfrentados para a execução do serviço. As principais contribuições desse caso para a sistemática de trabalho foram o estabelecimento das características a serem medidas e da estratégia de medição.

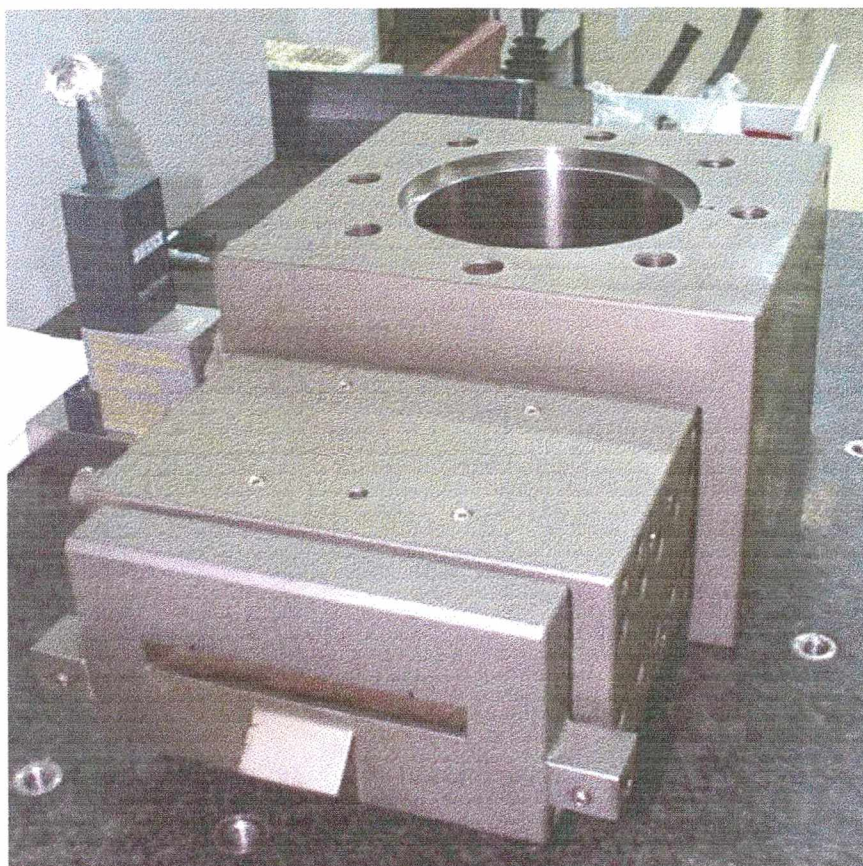


Figura 5.1 – Cabeçote de extrusão para materiais plásticos

5.1.2 Dispositivo de controle de assentos de automóveis

O dispositivo de controle de assentos de automóveis possui a forma similar ao corpo humano, visando simular a condição de uso do assento pelo usuário (figura 5.2). O dispositivo é constituído de várias partes com dimensões padronizadas, que podem ser acopladas umas nas outras, e de várias massas visando simular a ação da massa do corpo.

O controle geométrico do dispositivo estava relacionado a dimensões entre superfícies de contato do dispositivo com o assento e com barras de regulagem (simulando tamanhos diferentes do corpo do usuário) e na determinação da posição de um ponto de referência para as regulagens, sendo que o intervalo de tolerância dimensional mais crítico estava na faixa de $\pm 0,2$ mm. A principal dificuldade deste serviço foi a ausência de superfícies de forma regular para a determinação de sistemas coordenados e a falta de desenho técnico, apresentando um croqui esquemático dos parâmetros a serem controlados.

As principais contribuições desse caso foram a opção por acompanhamento do cliente na medição, sendo os custos relacionados com o tempo de medição, e a contribuição de informações sobre a estratégia de medição para o cliente.

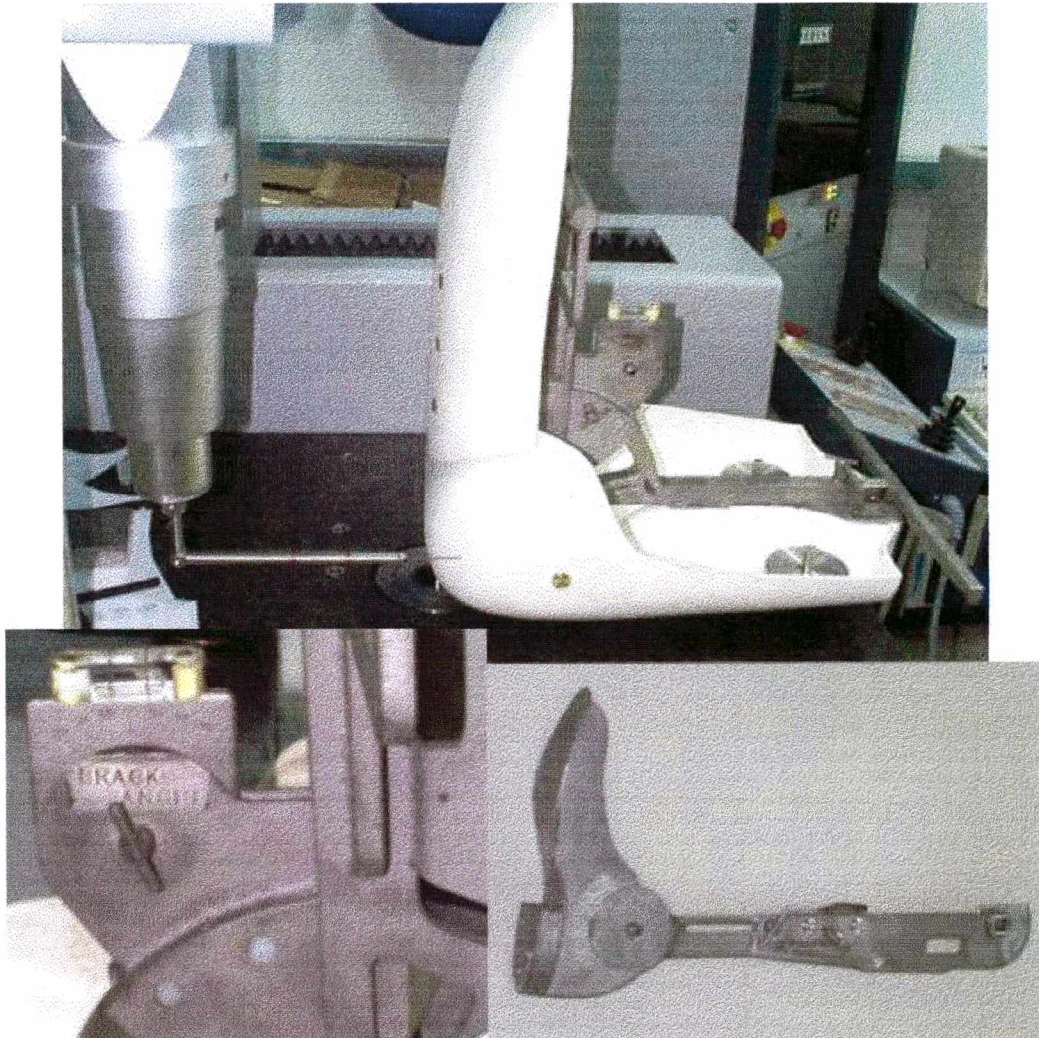


Figura 5.2 – Dispositivo utilizado para controle de assentos de automóveis

5.1.3 Carcaça de motor elétrico

A medição da carcaça, produzida em material plástico (figura 5.3), visava a orientação de tolerâncias para desvios geométricos segundo a capacidade do processo de fabricação. Foi medida a coaxialidade entre a cadeia de furos de fixação da carcaça e o eixo de referência do cilindro.

A principal constatação nesse caso foi a importância do conhecimento da tarefa de medição refletida no tempo de medição do objeto. Foram medidos dois objetos,

sendo que num deles foram realizados 3 ciclos de medição. Os tempos de medição foram reduzidos significativamente em cada ciclo de medição realizado, reforçando a importância do planejamento para o aumento da produtividade da MMC.

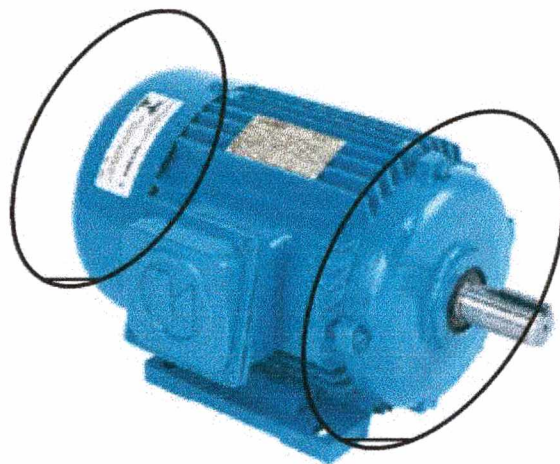
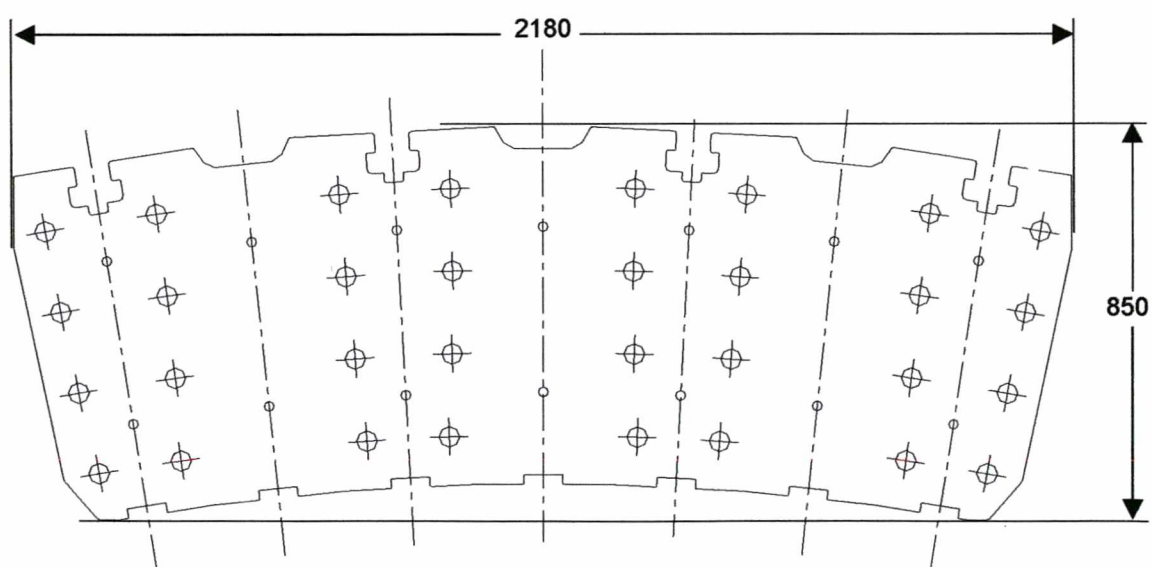


Figura 5.3 – Detalhe da parte da carcaça de motor elétrico medida

5.1.4 Chapa estampada

O controle geométrico da chapa visa a medição dos diâmetros dos furos, da posição da cadeia de furos, dimensões externas (comprimento e largura) e dimensão dos perfis laterais (figura 5.4).



Espessura: 2,65 mm

Figura 5.4 – Desenho ilustrativo da chapa estampada

A principal dificuldade para a realização da medição da chapa (2180 x 850 mm) seria a sua acomodação na MMC e a necessidade de várias fixações e concatenações de sistemas coordenados. Isto se deve ao fato de o volume de medição da MMC disponível ser de 1000 x 700 x 600 mm.

Esse serviço de medição não foi executado na íntegra, ou seja, constitui-se num exemplo em que o cliente solicita uma proposta de serviço de medição, porém não confirma a proposta. Neste caso, verifica-se a importância da sistematização das atividades de orçamentação (definição dos critérios técnicos e da estimativa de tempos) sem que haja grande comprometimento de tempo por parte do metrologista. Isto porque os tempos gastos na análise preliminar e na emissão da proposta do serviço não serão faturados se o serviço não for confirmado.

5.1.5 Braço de calibração de dinamômetro

Da mesma forma como o serviço anterior, o serviço não foi executado na íntegra. O objeto possui dimensões externas de 2500 x 960 x 500 mm (figura 5.5).

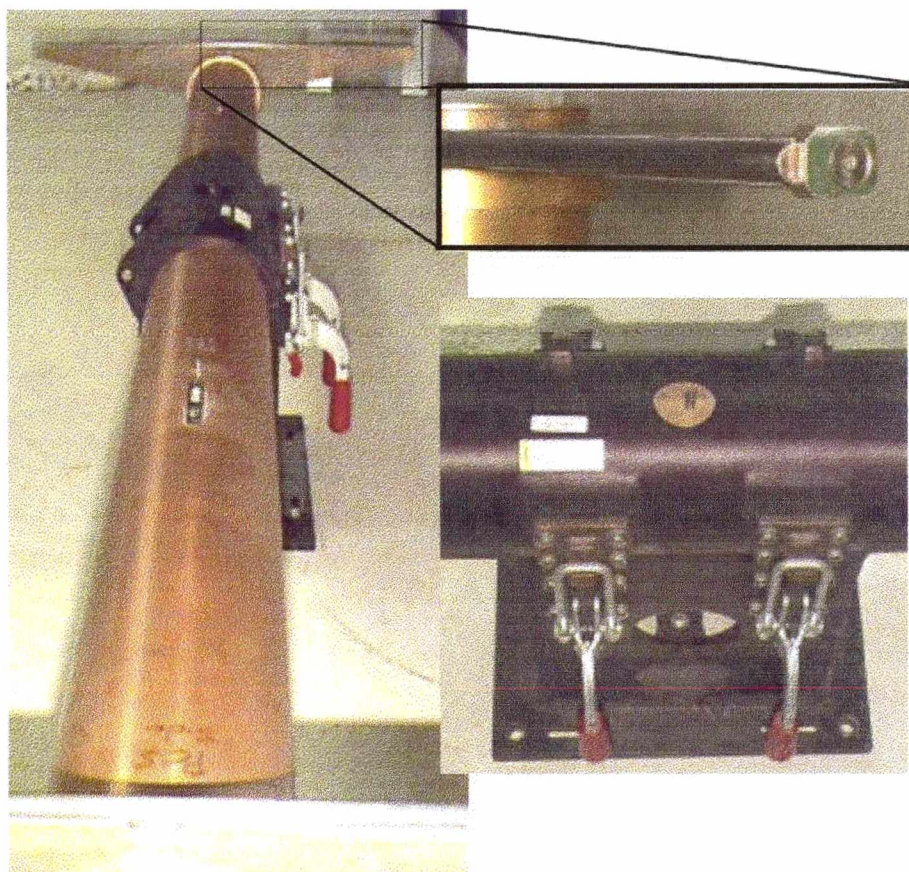


Figura 5.5 – Detalhes do braço de calibração de dinamômetros

As dimensões estavam marcadas num croqui feito a mão acompanhado de fotos do objeto, constando na solicitação que o resultado da medição apresentasse incerteza de medição (em torno) de $\pm 0,1$ mm. Esse nível de incerteza de medição não seria crítico para se assegurar na medição com a MMC. A medição do objeto consistia na determinação das dimensões totais (comprimento e largura), posição dos braços transversais em relação a base e a determinação do erro de perpendicularidade entre o eixo do cilindro com os braços transversais.

A utilização da lista de verificação e dos roteiros para orçamentação contribuiu para o entendimento das características a medir e na coleta de informações pertinentes para a elaboração da proposta de serviço. O objeto é construído basicamente de dois materiais, alumínio (braço) e aço (base de apoio).

A principal dificuldade deste serviço, para a execução da medição, seria o tamanho do objeto que não estaria completamente inserido no volume de medição da MMC, sendo necessário vários posicionamentos do objeto e trocas de apalpador.

5.1.6 Painel de caixa eletrônico

O painel de caixa eletrônico é produzido em material plástico pelo processo de moldagem por injeção, possuindo intervalos de tolerâncias dimensionais de nível médio. O objeto possui dimensões externas (maiores dimensões) de 610 mm de largura e 770 mm de comprimento, sendo controladas características dimensionais, posição de elementos e de cadeia de furos (figura 5.6).

Anteriormente ao estudo de caso, foi feito o acompanhamento da medição de um painel sem que fosse executada uma análise criteriosa das fontes de erro e características do objeto. Apenas com uma medição normal (ver item 2.3), ou seja, comparando-se medidas com as especificações do desenho, foram geradas poucas informações úteis e os resultados apresentavam pouca confiabilidade. Na execução desse estudo de caso foi realizado um planejamento criterioso da tarefa de medição, contando com a orientação de discussões definidas em reuniões com os envolvidos.

Esse estudo de caso constituiu-se não só como um serviço de medição, mas como uma prestação de assessoria para o cliente, gerando resultados interessantes através das medições.

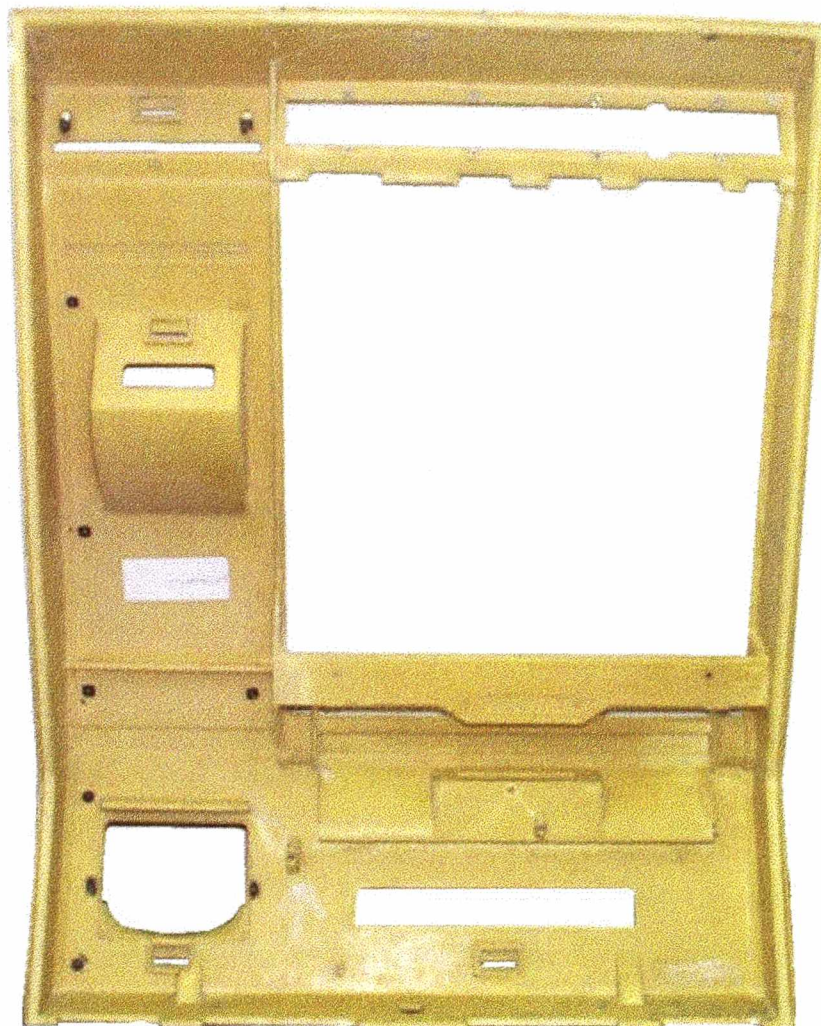


Figura 5.6 – Vista posterior de um painel de caixa eletrônico

5.2 ANÁLISE DA FASE: CAPTAÇÃO DE INFORMAÇÕES JUNTO AO CLIENTE

A captação de informações é fator essencial para a geração de um resultado adequado para o serviço de medição, fato que foi constatado a cada novo serviço realizado. Sem um instrumento que auxilie na captação das informações úteis ao serviço, constantemente surgem dúvidas no decorrer da execução dos serviços, situação esta que se modificou com a introdução da lista de verificação e dos roteiros para orçamentação.

O que se verificou nos serviços de medição apresentados foi a dificuldade de se obter informações básicas sobre as características do objeto. Isso se deve ao fato de que muitas solicitações apresentam apenas croquis, sem indicação clara do que

medir, como ocorrido nos casos do braço de calibração de dinamômetros, do dispositivo de controle de assentos de automóveis e em parte do cabeçote de extrusão plástica, o qual não apresentava croqui ou desenho.

A falta de esclarecimento inicial do propósito da medição, das características a medir e indefinição sobre a forma de apresentação do resultado tornou difícil a execução da medição do cabeçote de extrusão plástica, motivando o aperfeiçoamento da captação de informações, devido aos problemas causados na execução da medição e no relatório de medição.

Nos serviços de medição da chapa estampada e dos painéis de caixas eletrônicos os desenhos e as informações obtidas, auxiliadas pela lista de verificação, tornaram claras as razões da medição e as características a medir dos objetos.

No serviço de medição dos painéis de caixas eletrônicos, as discussões com os responsáveis pelo projeto, pela inspeção de qualidade e pela fabricação determinaram as características principais a serem medidas segundo a sua funcionalidade e comprometimento na montagem com outros componentes. A determinação das características que estavam fora das especificações, as ações corretivas convenientes, a determinação de planos de referência adequados e os ajustes no molde e no processo de injeção eram os objetivos do serviço.

Recomendações/conclusões para essa fase:

- O esclarecimento das características a serem medidas fica facilitado através de desenhos técnicos, sendo importante que conste, de forma mais clara possível, as dimensões, as tolerâncias e os elementos geométricos de referência para sistemas coordenados e sistema de cotação;
- Objetos que possuem geometria complexa ou de difícil entendimento devido ao envio de croquis ou desenhos esquemáticos podem ser melhor compreendidos através de fotos, oferecendo ao metrologista melhores subsídios para a estimativa de tempo e de custos, porém não devem ser as únicas ou principais informações gráficas sobre o OM;
- O conhecimento do motivo/razão da medição pode indicar a sua tendência de efetivar o serviço e torna-se mais fácil a definição do conteúdo de informações (categoria) do relatório de medição. Casos em que não sejam

pressionados por normas ou por seus clientes, serviços com custo elevado tendem a não ser concretizados;

- No caso do cliente ter definido uma estratégia de medição e um sistema coordenado para o OM, estes devem ser informados ao LPS para haver condições de comparação com dados já existentes.

5.3 ANÁLISE DA FASE: ORÇAMENTAÇÃO E ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE SERVIÇO

A falta de critérios para o auxílio na estimativa de tempos, que era executada em função de macro-atividades como preparação do serviço, medição e elaboração do relatório, dificultava a realização de uma estimativa coerente. O estabelecimento de critérios técnicos (o que medir no objeto – Roteiro Técnico) sobre o serviço e de parâmetros para estimativa de tempos (Roteiro para Estimativa de Tempos) oferece uma noção melhor das dificuldades enfrentadas na execução do serviço. A seguir, são descritas as dificuldades de cada serviço na orçamentação e como foram superadas.

Nos casos do dispositivo de controle de assentos e dos painéis foram determinados custos do serviço dependentes do tempo de medição, sendo relacionados ao tempo utilizado para a medição somente, segundo um custo de hora da MMC previamente determinado baseado em custos internos.

A decisão por essa opção, no caso do dispositivo de controle de assentos, foi tomada devido à dificuldade da medição (geometria complexa e inexistência de desenho) e pela possibilidade de acompanhamento do cliente durante as medições. Fato este que facilitou a orçamentação e a emissão da proposta, sem prejuízos ao cliente e ao LPS.

No caso dos painéis, a definição dos custos do serviço dependente do tempo de medição se tornou viável, pois o objeto possuía geometria complexa e muitas características a medir.

Para a medição da chapa estampada, as características a medir foram estudadas e definidas, estimativas de tempo para fixação e medição foram realizadas e uma análise da dificuldade da obtenção das medidas foi considerada com auxílio do

Roteiro para Estimativa de Tempos. Devido ao tamanho do objeto ser maior que o volume de medição da MMC, para a obtenção de algumas medidas seria necessária a realização de concatenação de sistemas coordenados e fixações especiais para o objeto. Os custos foram estimados segundo a estimativa de tempo e experiência de metrologistas e então emitida a proposta de serviço, porém esta proposta não foi contratada.

No caso do braço de calibração, após esclarecimentos feitos sobre as fotos e os croquis enviados, foram estabelecidas as características a medir e apresentadas estimativas de tempo e custo para o cliente, contudo, a proposta não foi contratada.

Recomendações/conclusões para essa fase:

- Em casos de dificuldade de estimativa de tempo e custo para a execução do serviço, principalmente em situações que envolvem geometria complexa e com muitas características a medir, a opção mais adequada pode ser a emissão de proposta de serviço com custos dependentes do tempo de medição. Fica estabelecido na proposta o valor cobrado por hora de medição do objeto, apresentando também uma estimativa aproximada (de caráter orientativo para o cliente) para execução do serviço.
- A definição de tempos padronizados (por exemplo: X minutos/cota) para a estimativa de tempo de medição pode ajudar o metrologista a ter uma noção grosseira do tempo de medição. Dados experimentais foram coletados e a dependência da complexidade das características (ver item 4.5.2), a análise da fixação, montagem e troca de apalpadores e definição de sistemas coordenados coerentes podem extrapolar essas estimativas.
- A elaboração da proposta não pode tomar muito tempo do metrologista. Isto se deve ao fato, verificado nos estudos de caso, que nem todas as propostas são realmente contratadas, sendo então um tempo não remunerado. A orçamentação deve prever a medição, porém não se deve executar o planejamento da tarefa de medição. O planejamento é executado após a aprovação da proposta. A proposta deve conter a descrição das atividades a serem feitas, por exemplo, execução de medição de X características dimensionais, Y desvios geométricos, análise comparativa da conformidade

das medidas com as tolerâncias e definição de resultados gráficos, quando necessário.

5.4 ANÁLISE DA FASE: PREPARAÇÃO E EXECUÇÃO DO SERVIÇO

Essa fase é caracterizada pelo planejamento da tarefa de medição (como medir) e pela execução da medição do objeto. Nesse sentido, são apresentados os casos em que não foi realizado um bom planejamento refletindo-se na dificuldade da execução da medição e na análise das medidas, o caso em que o cliente acompanhou a medição e o caso dos painéis, cujo planejamento mostrou-se eficaz.

Na execução da medição do cabeçote de extrusão plástica, a escassez de informações e a deficiência no planejamento da tarefa de medição fizeram com que fossem tomadas medidas desnecessárias e dados que não definiam corretamente os elementos geométricos. Uma série de dúvidas surgiu no decorrer da medição, obrigando a paralisação do serviço até o esclarecimento das mesmas, o que causou problemas no cronograma de serviços. Ao invés da apalpação de pontos sobre elementos geométricos, foram tomadas medidas de retilineidade e planeza, o que tornou necessária a realização de cálculos para compensação de projeções dos elementos medidos e compensação de ângulos de retas e vetores normais das superfícies criadas. Esse serviço motivou o estudo de um planejamento da tarefa de medição prévio, bem como de melhoramentos na captação de informações.

Como exemplo do ganho de produtividade com o planejamento da tarefa de medição está o serviço de medição da carcaça de motor elétrico (figura 5.7).

Fazendo-se somente uma rápida preparação, o metrologista acaba tendo dúvidas na execução da medição, aumentando o tempo de medição do objeto. Na medição da carcaça de motor elétrico foram realizados três ciclos de medição manual, sendo medidos oito círculos e determinados dois desvios de coaxialidade em cada ciclo. A diminuição de tempo se justifica pelo fato de o metrologista conhecer melhor a tarefa de medição a cada ciclo realizado. Isso demonstra a importância de o metrologista conhecer claramente a tarefa de medição antes de executar a medição propriamente dita.

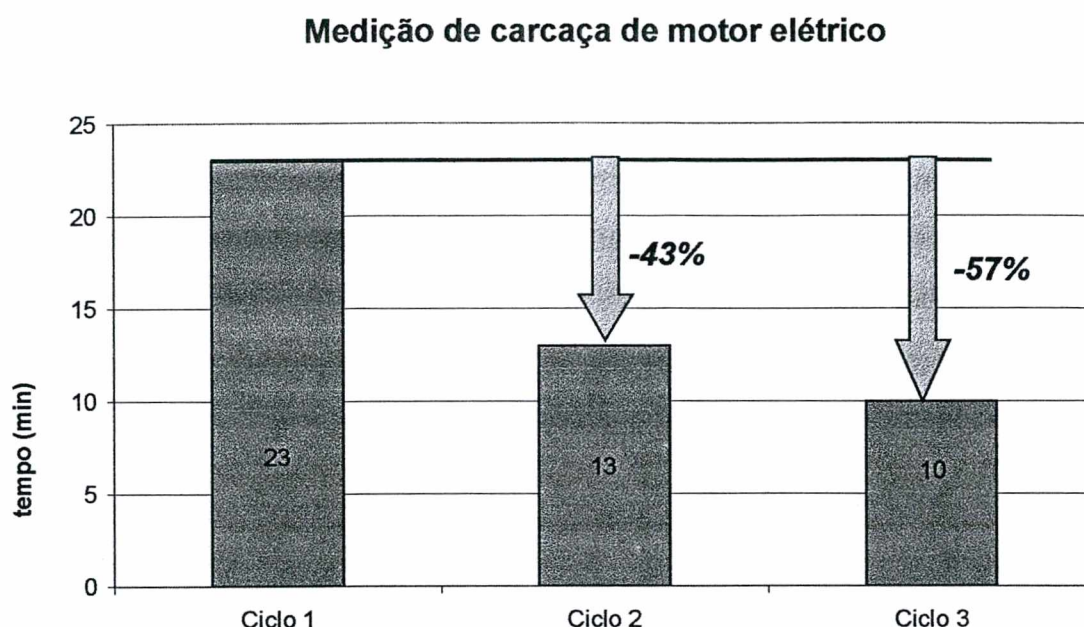


Figura 5.7 – Comparativo de tempo de medição em diferentes ciclos de medição

No caso do dispositivo de controle de assentos, a presença do cliente viabilizou a discussão da estratégia de medição no momento da medição. Dúvidas foram esclarecidas durante a execução da medição e sugestões para escolha de superfícies de referência foram apresentadas ao cliente. Como o cliente não tinha conhecimento pleno de como deveria ser feita a medição do dispositivo, a troca de informações e de sugestões para estratégia de medição por parte do laboratório (Laboratório de Medição por Coordenadas da Fundação CERTI) foi realizada, possibilitando excelente intercâmbio de conhecimento e bons resultados para o cliente. A complexidade e a dimensão do dispositivo tornou a medição difícil, porém a competência do LPS e as discussões entre os técnicos metrologistas fizeram com que o serviço fosse executado de forma eficiente. A experiência obtida com o serviço ofereceu subsídios para definição de estratégias de medição e acompanhamento do cliente em serviços complexos quando possível.

No caso dos painéis de caixas eletrônicos, o estudo da sua geometria e das suas condições gerais permitiu a elaboração de um plano de medição que identificasse as características a medir (mais de cem características medidas por painel) e alguns parâmetros de verificação das condições geométricas, possíveis com o auxílio da base de informações sobre polímeros. Esses parâmetros de verificação são medições de planeza, de ângulos entre interseções de planos, paralelismo entre

retas e entre planos, desalinhamento de planos devido a problemas de injeção, entre outros. Juntamente com as características medidas, esses parâmetros permitiram obter informações sobre as condições do processo de injeção. Foram medidos seis painéis com configurações diferentes, e a cada novo painel medido, mais informações eram analisadas e novos parâmetros de verificação eram definidos de acordo com os desvios geométricos encontrados.

Para auxiliar no entendimento do OM, um estudo das causas de erro na injeção plástica foi realizado (figura 5.8) [66].

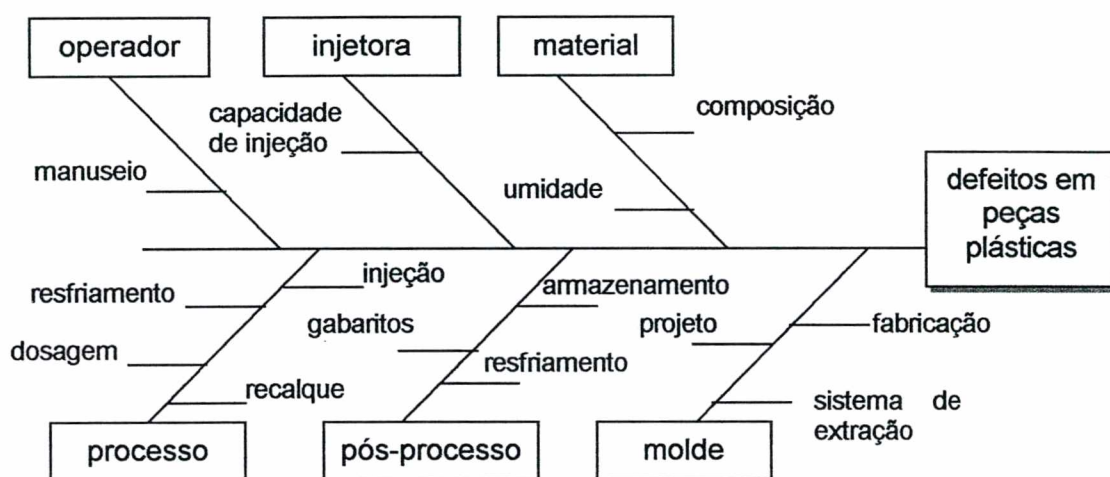


Figura 5.8 – Causas de defeitos no processo de injeção de peças plásticas

A observação dos painéis revelou vários dos problemas indicados na figura 5.8. Problemas de pós-processo, tais como empenamentos, puderam ser constatados na medição de planeza, de perpendicularidade e de paralelismo de superfícies. A ação do operador nesse caso é crítica, pois o painel é manuseado ainda quente, o que facilita o empenamento do mesmo. A utilização de gabaritos pode amenizar essa falha, pois permite que o painel se resfrie na forma correta imposta pelo gabarito. A inexistência de insertos e deslocamento grosseiro de partes móveis do molde (devido ao fechamento inadequado do molde pelo operador) foram erros detectados na medição e atribuídos ao operador.

As características medidas deram uma idéia da qualidade da fabricação do molde. Como o molde era constituído de partes intercambiáveis, as folgas e os deslocamentos relativos dessas partes puderam ser detectados com a medição de

características através da definição de sistemas coordenados em cada uma das partes do objeto correspondentes ao molde. Em seguida, fez-se a comparação relativa dos resultados das mesmas características medidas através do sistema coordenado geral do painel. Tal atividade evidenciou que as características medidas de cada parte intercambiável do molde estavam em conformidade com as especificações de projeto. Porém quando as características medidas pertenciam a duas partes diferentes do molde havia não conformidade com as especificações, o que evidenciou a presença de folgas e deslocamentos relativos das partes intercambiáveis do molde.

Problemas derivados do processo de injeção podem causar falhas dimensionais ou ainda falhas de injeção incompleta do painel. Tal fato foi observado pela existência de bolhas, rechupes e locais do painel sem material. Cuidado especial foi tomado para que nenhum ponto fosse apalpado nessas regiões, pois poderiam causar erros grosseiros nos resultados.

Recomendações/conclusões para essa fase:

- O planejamento da tarefa da medição é um importante passo para a realização de medições em objetos através da tecnologia de medição por coordenadas. O metrologista deve ter noção clara da tarefa de medição e conhecer as fontes de erro na medição para minimizá-las tanto quanto possível. O tempo de medição será menor se o planejamento da tarefa de medição for bem feito, pois o metrologista terá conhecimento prévio do que deve fazer e em que seqüência medir as características do objeto. Outro ponto positivo desse planejamento é a formatação do relatório de medição, que já estará bem encaminhada, restando apenas completar os dados das medidas e fazer as análises pertinentes.

5.5 ANÁLISE DA FASE: ANÁLISE E APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Essa fase do fluxo de informações se caracteriza na análise das medidas do objeto e na apresentação das mesmas de forma que se possa gerar soluções. São aqui apresentadas as análises feitas sobre os objetos medidos, dificuldades enfrentadas e respectivas sugestões para superá-las.

No caso do cabeçote de extrusão plástica, o primeiro caso acompanhado, o

planejamento deficiente da tarefa de medição demonstrou claramente suas conseqüências. Medidas insuficientes para a definição de elementos geométricos e dados incoerentes que levavam a realização de novas medições fizeram desse caso uma importante fonte de melhorias e de adaptações para a elaboração da sistemática. Em virtude dos problemas enfrentados com as medidas, a análise dos resultados foi exaustiva e complexa superando as estimativas de tempo iniciais. A figura 5.9 apresenta um comparativo do tempo gasto pelo metrologista para cada etapa da execução do serviço.

Medição do cabeçote de extrusão plástica



Figura 5.9 – Comparativo dos tempos para execução do serviço

No caso do dispositivo de controle de assentos, os resultados foram informados no relatório de medição, incluindo-se sugestões para estabelecimento de procedimento de medição do dispositivo, bem como fotos das várias partes nas posições de fixação utilizadas para a medição. Detalhes sobre o alinhamento, tais como a utilização do próprio nível de bolha do dispositivo para alinhamento e orientação para a fixação, superfícies auxiliares de componentes do dispositivo para definição de referências e concatenação de sistemas coordenados puderam ser facilmente identificados e documentados através de fotografias. A figura 5.10 ilustra a utilização do nível de bolha do dispositivo para auxiliar a determinação da estratégia de medição.

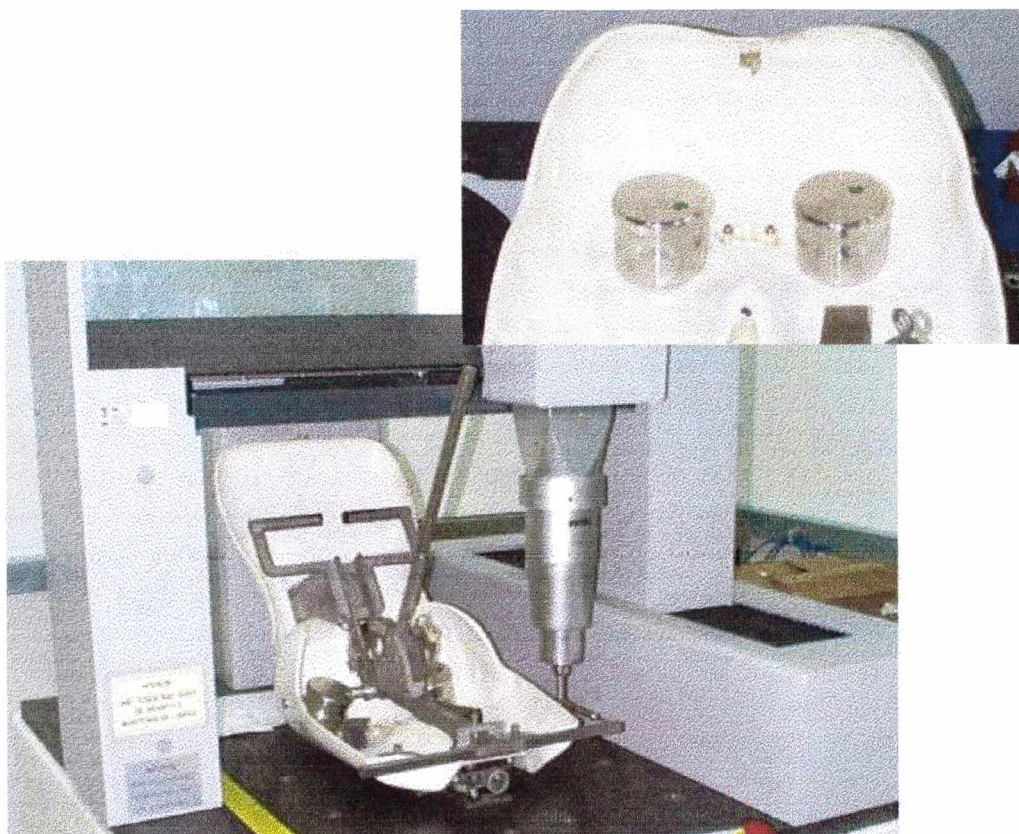


Figura 5.10 – Nível de bolha utilizado para auxiliar na fixação do dispositivo de controle de assentos de automóveis

O estudo realizado sobre os painéis possibilitou a identificação de problemas no processo de injeção, no projeto e na fabricação do molde de injeção e na indicação de referências para o desenho. Com as medições foi observado que alguns insertos roscados utilizados para fixação em outro componente mecânico estavam com deslocamentos de até 10 vezes o valor da sua tolerância. Em discussões com os envolvidos com a fabricação do molde foram identificados problemas com a estabilidade do molde (deslocamentos relativos das partes intercambiáveis) e com os mecanismos de fixação de insertos. Ou seja, através das medições foi observado que havia movimento relativo entre as partes constituintes do molde no momento da injeção.

A limpeza ineficiente do molde por parte do operador da injetora e descuidos no momento da colocação de insertos e fechamento do molde contribuíram para as medidas estarem fora das especificações. Análises sobre o sistema de referência e cotação do desenho foram feitas e sugestões para alterá-las a fim de facilitar o controle geométrico foram encaminhadas para os envolvidos. A contribuição das

medições dos painéis através dos resultados apresentados foi conseguida graças às discussões com os envolvidos das diversas áreas, ao estudo criterioso do objeto e ao planejamento da tarefa de medição. Estes são fatores essenciais para que os resultados apresentados em um serviço de medição ou prestação de assessoria sejam realmente úteis e promovam melhorias e soluções para o problema do cliente.

Para realizar o estudo sobre os painéis eletrônicos, a dedicação do tempo para cada etapa do serviço está ilustrada na figura 5.11.

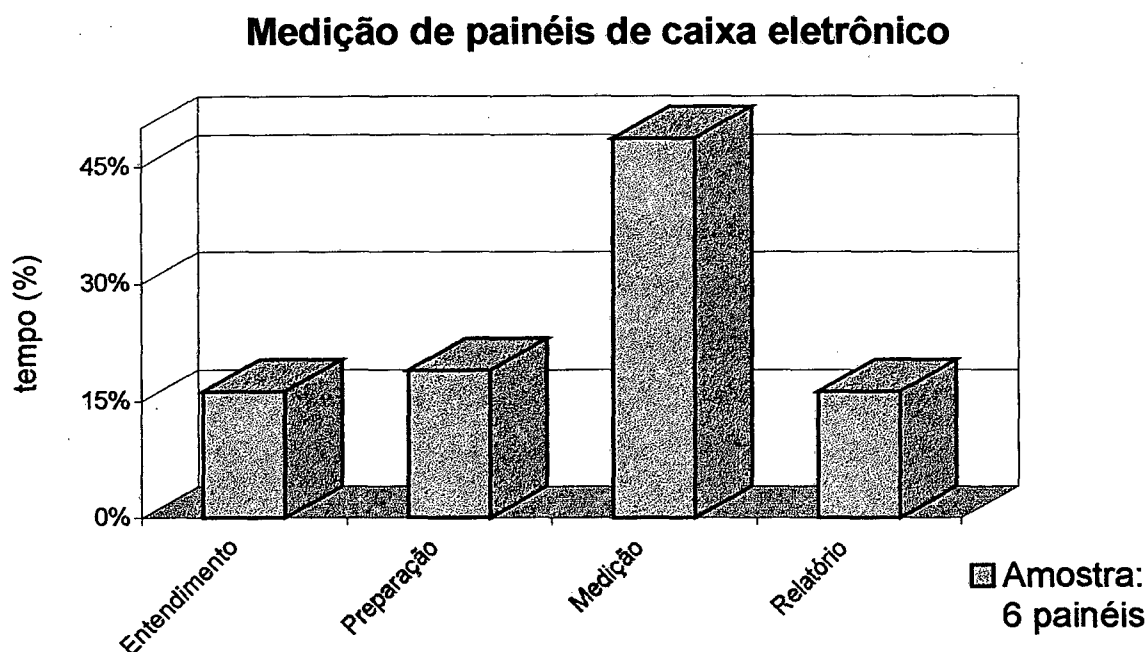


Figura 5.11 – Tempos médios gastos por painel para cada etapa do serviço

Na etapa do entendimento, considerou-se o tempo de discussão em reuniões e visitas ao responsável pela manutenção e fabricação de partes constituintes do molde de injeção. O tempo de preparação envolve o tempo de análise de causas de falhas do processo de injeção, planejamento da tarefa de medição e definição de parâmetros de verificação das condições gerais da geometria do painel. O tempo de medição equivale ao tempo em que foram obtidas as medidas e feitas verificações de dados da medição. A proporção elevada do tempo de medição se justifica pelo fato de ser considerado tempo médio de seis medições. O planejamento da tarefa de medição é similar para os seis painéis, desse modo, tendo feito o plano de medição para o primeiro painel, conseqüentemente os próximos estarão espelhados no

primeiro. Apenas alguns detalhes foram alterados de uma configuração para outra, mas a maioria das características a serem medidas permanecia a mesma. Isso faz com que o tempo de medição entre os painéis fosse quase sempre o mesmo, porém os tempos de preparação e de entendimento foram divididos para os seis painéis. Caso esses tempos não fossem divididos, os tempos de preparação e entendimento seriam os mais significativos.

O tempo de relatório, que está representado no gráfico, está relacionado com a realização das análises das medidas, da apresentação dos resultados e das conclusões e da redação do relatório de medição. O tempo total do serviço de medição de cada painel foi de aproximadamente 18 horas.

Recomendações/conclusões para essa fase:

- A apresentação dos resultados numéricos no relatório de medição deve ser similar ao plano de medição elaborado no planejamento da tarefa de medição. A análise por grupos funcionais facilita a ação corretiva quando conveniente e a verificação de dados da medição em caso de dúvida nas medidas apresenta rápida localização.
- Resultados gráficos podem auxiliar na apresentação dos resultados. Desenhos em CAD ou mesmo esquemas simplificados podem conter todas as informações necessárias ao cliente sem a necessidade de se redigir textos explicativos.
- Análises sobre os resultados e indicações sobre possíveis causas ou ações corretivas podem auxiliar o cliente mais do que um simples relatório com dados numéricos e sem informações de como foram obtidos.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

A crescente demanda da indústria por serviços de medição e assistência metrológica em tecnologia de medição por coordenadas através de laboratório prestador de serviços motivou a execução do trabalho. A estrutura organizacional dos laboratórios prestadores de serviços em medição por coordenadas nem sempre apresenta sistematização adequada para o atendimento ágil e eficiente das necessidades do cliente em serviços de medição. Conseqüentemente a apresentação de resultados confiáveis e úteis para a solução de problemas de medição fica prejudicada.

O processo de medição de um objeto passa por várias etapas, iniciando na definição do problema que induz uma demanda de medição e finalizando na apresentação de informações para a solução do problema. Nesse processo, a parcela de tempo e de atividades relativa à execução da medição propriamente dita é, em geral, pequena em relação ao total do processo. E esse processo ocorre sempre que um novo objeto precisa ser medido, quer seja num laboratório independente ou num laboratório da própria empresa. Desse modo, esse trabalho oferece uma importante contribuição para a realização eficiente e metrologicamente correta da tarefa de medição de um objeto.

A sistematização das atividades dos serviços de medição tem de considerar a diversidade dos serviços e a complexidade geométrica dos objetos a medir e ser flexível, de modo a não prejudicar o atendimento eficiente dos serviços de medição solicitados pelo cliente.

Esse trabalho gerou uma sistemática de trabalho organizada em módulos de

atividades suportada por instrumentos de auxílio, como lista de verificação, roteiros para orçamentação e bases de informações para medição. Esses instrumentos permitem maior objetividade e flexibilidade no atendimento dos serviços de medição. Também apresenta as oportunidades de negócios para laboratórios de medição por coordenadas prestarem à indústria. Além das oportunidades, os desafios e as dificuldades foram levantados e foram verificadas as condições para superá-los.

A adequada utilização da sistemática de trabalho determina rápida resposta do laboratório frente às oportunidades de negócios em serviços de medição através da tecnologia de medição por coordenadas. Maior eficiência na comunicação com o cliente e na comunicação interna do laboratório é contemplada com a utilização da lista de verificação, dos roteiros para orçamentação e das bases de informações para medição que orientam o fluxo de informações nos serviços de medição. A orientação para o planejamento prévio da medição aumenta a produtividade da máquina de medir por coordenadas, evitando retrabalhos e tempo improdutivo para esclarecimento de dúvidas durante a medição e para fazer testes de verificação de medidas.

Os benefícios econômicos induzidos pelo planejamento da tarefa de medição podem ser estimados na diferença do custo por hora de trabalho entre o metrologista e a máquina de medir por coordenadas, sendo esta última muitas vezes superior. Nesse sentido, o planejamento consome horas de trabalho do metrologista, enquanto que a execução da medição consome horas de trabalho da máquina de medir por coordenadas adicionalmente às horas do metrologista. Em caso de dúvidas ou retrabalhos na execução da medição, os custos do serviço serão estimados pelo tempo de utilização da máquina de medir por coordenadas que, estando improdutiva até a resolução das dúvidas, poderia estar realizando outros serviços do laboratório.

As vantagens da aplicação da sistemática de trabalho desenvolvida são:

- torna eficiente a comunicação entre o laboratório prestador de serviços e o cliente no momento da solicitação de serviços e na compreensão das necessidades do cliente;
- capacita o laboratório a auxiliar o cliente de forma mais ativa em serviços de prestação de assessorias em medição por coordenadas;

- simplicidade e flexibilidade da sistemática de trabalho, devido ao não estabelecimento de procedimentos rígidos e específicos para determinado tipo de peça ou geometria;
- facilita e orienta o fluxo de informações durante a execução do serviço de medição, através de instrumentos de auxílio, de modo a evitar perda de informação bem como possibilita a documentação de aspectos interessantes para consultas futuras;
- auxilia na estimativa de tempo e custos dos serviços de medição;
- propicia estudo mais elaborado sobre o objeto a medir, orientando o planejamento da tarefa de medição e assim permite a apresentação de informações úteis e metrologicamente confiáveis para a solução de problemas do cliente através da medição em máquinas de medir por coordenadas.

A sistemática de trabalho apresentada nesse estudo é válida tanto para um laboratório constituído por apenas um metrologista, como para um laboratório de grande porte. As atividades envolvidas na execução de um serviço de medição (captação de informações, entendimento do problema, definição da estratégia de medição, medição e interpretação dos resultados) devem ser executadas preferencialmente pelo mesmo metrologista. Desse modo, evita-se a necessidade de explicações e repasse interno de informações (entre os colaboradores do laboratório), reduzindo-se falhas e problemas no fluxo de informações do serviço de medição.

Laboratórios de Medição por Coordenadas constituem-se de investimentos de centenas de milhares a milhões de reais, sendo importante para as empresas o uso eficiente da efetiva capacidade metrológica das máquinas de medir por coordenadas e conquistar retorno ou sobrevivência econômica de Laboratórios Prestadores de Serviços independentes. Este trabalho certamente constitui-se numa segura orientação para atingir esta situação nos laboratórios brasileiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SOUSA, A. R. **Medição por coordenadas.** Apostila de curso de medição por coordenadas. Escola Técnica Federal de Santa Catarina, 123p. Florianópolis, 1998.
- [2] VEIGA, C. L. N. ; **Máquinas de medir por coordenadas.** Fundação SHOELER, N. CERTI, 174p. Florianópolis, 1991.
- [3] BOTTURA, M. C.; **Quem usa diz que as máquinas de medir 3D são indispensáveis.** Máquinas e Metais, nº 315, p 10 – 15, 1992.
- [4] TANIO, F. **Curva ascendente nas vendas de máquinas de medição tridimensional.** Metal Mecânica, Dezembro 1999 / Janeiro 2000, p 8 – 19.
- [5] WECKENMANN, A; **Koordinatenmeßtechnik: Flexible Meßstrategien für Maß, Form und Lage.** ISBN 3-446-17991-7. Carl Hanser Verlag, 284p. München, 1999.
- [6] PFEIFER, T. **Fertigungsmeßtechnik.** ISBN 3-486-24219-9. Oldenbourg Verlag, 417p. München, 1998.
- [7] QS 9000 **Processo de Aprovação de Peça de Produção (PPAP).** Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation, 54p. São Paulo, 1997.

- [8] QS 9000 **Planejamento Avançado da Qualidade do Produto e Plano de Controle (APQP) – Manual de Referência.** Chrysler Corporation, Ford Motor Company e General Motors Corporation, 101p. São Paulo, 1997.
- [9] WECKENMANN, A. **Koordinatenmeßtechnik im Qualitätsmanagement.** VDI Berichte: 1258, Koordinatenmesstechnik: sicher – umfassend – zukunftsweisend, p 1 – 12. Düsseldorf, 1996.
- [10] GIGO, L. G. **Estação de medição por coordenadas na produção de peças complexas – metodologia de especificação.** Dissertação. (Mestrado em Metrologia). Curso de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 87p. Florianópolis, 1999.
- [11] ÁLVARES, A. J. **A tecnologia de medição por coordenadas como base para a regulação da qualidade geométrica do processo de usinagem CNC.** Dissertação. (Mestrado em Engenharia Mecânica). Curso de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 134p. Florianópolis, 1990.
- [12] BOSCH, J.A. **Coordinate Measuring Machines and Systems.** ISBN 0-8247-9581-4. Marcel Dekker, INC, 443p. New York, 1995.
- [13] BRAUCHLE, R. **Integrated test planning in combination with flexible adaption of the test range; possibilities of reduce costs for inspection planning and**

inspection. Seminário Internacional de Metrologia para Controle da Qualidade, módulo 4, artigo 2. Florianópolis, 1996.

- [14] PFEIFER, T.; TORRES, F. **Manual de gestión e ingeniería de la calidad.** ISBN 84-89859-43-4. Mira Editores, 589p. Zaragoza, 1999.
- [15] PFEIFFER, G. **Uma metodologia para determinação da necessidade de inspeção na manufatura.** Dissertação. (Mestrado em Metrologia). Curso de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 70p. Florianópolis, 1999.
- [16] NEUMANN, H. J. **Gear inspection on a multi-coordinate measuring machine.** Produktbereich Industrielle Meßtechnik – Zeiss. Oberkochen, 1980.
- [17] COOPER, C. **Coordinate Measuring Machines and the Gear Industry.** Disponível na internet: <http://geartechnology.com/mag/MMC.htm>. Visto em junho/2000.
- [18] ISO 15530-4 **Geometrical Product Specification (GPS) – Techniques of Determining the Uncertainty of Measurement in Coordinate Metrology – Part 4: Experimental Uncertainty Assessment for the Substitution Method Using Calibrated Objects.** Working draft internacional standard. 1998.
- [19] ISO 15530-5 **Geometrical Product Specification (GPS) – Techniques of Determining the Uncertainty of Measurement in Coordinate Metrology – Part 5:**

Experimental Uncertainty Assessment for Direct Measurement Using Calibrated Objects. Working draft internacional standard. 1998.

- [20] SCHNEIDER, C.A. **Modos de a empresa garantir a rastreabilidade metrológica de seus produtos/serviços aos padrões nacionais.** Seminário Internacional de Metrologia para Controle da Qualidade, sessão 3, módulo A, artigo 1. Florianópolis, 1995.
- [21] TRAPET, E. ; **Coordinate Measuring Machines in the Calibration**
WÄLDELE, F. ; **Chain.** Bulletin du BNM, n 102, p 27 – 35. 1995.
WIEGAND, U.
- [22] TRAPET, E. ; **Rückführbarkeit der Meßergebnisse von**
WÄLDELE, F. **Koordinatenmeßgeräten.** VDI Berichte: 1258,
Koordinatenmesstechnik: sicher – umfassend –
zukunftsweisend, p 139 – 149. Düsseldorf, 1996.
- [23] ALRASHDAN, A. ; **Automatic digitized data for reverse engineering**
MOTAVALLI, S. ; **applications.** IIE Transactions 2000, vol 32, p 59 –
FALLAHI, B. 69.
- [24] NORONHA, J. L. **Avaliação da incerteza na calibração de padrão escalonado em máquinas de medir por coordenadas – método da comparação.** CONEM 2000 – Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. Natal, 2000.
- [25] VEIGA, C. L. N.; **Calibração de máquinas de medir por coordenadas com placas de esferas.** Anais do Seminário Internacional para Controle da Qualidade, módulo 2, artigo 2. Florianópolis, 1997.

- [26] TRAPET, E. **Geometrical and kinematical measurements on machine tools and coordinate measuring machines.** Seminar in the Center for Calibration, Instrumentation and Metrology, Psysikalisch Technische Bundesanstalt, 137p. Jakarta, 1987.
- [27] VDI/VDE 2617 **Accuracy of Coordinate Measuring Machines – Characteristics and their cheking components of measurement deviation of the machine, Part 3.** VDI Verlag, Düsseldorf, 1986.
- [28] ISO 10360 – 2 **Coordinate metrology – Part 2: Performance assessment of coordinate measuring machines.** International Organization for Standardization, 1994.
- [29] EAL – G17 **Coordinate Measuring Machine Calibration – Publication reference.** European Cooperation for Accreditation of Laboratories. Edition 1, 1995.
- [30] INMETRO **VIM – Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia.** DIMCI, 52P. Duque de Caxias, 1995.
- [31] NORONHA, J. L. **Qualificação de máquinas de medir por coordenadas com padrões corporificados.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 134p. Florianópolis, 1994.
- [32] MIGUEL, P. A., C. ; KING, T. G. **Fontes de erros e critérios gerais de ensaios em máquinas de medir por coordenadas.** Revista

Ciência e Tecnologia, vol 5/2, número 10, p 6 – 20. 1996.

- [33] TRAPET, E.
WÄLDELE, F. **Aseguramiento de la calidad para máquinas de medir por coordenadas.** Seminario en el Centro Español de Metrologia, Psysikalisch Technische Bundesanstalt, 160p. Braunschweig, 1991.
- [34] KLEN, E. R. **Calibração de máquinas de medir por coordenadas utilizando placas de esferas –uma técnica econômica, rápida e metrologicamente eficiente.** Dissertação. (Mestrado em Metrologia). Curso de Pós-graduação em Metrologia Científica e Industrial, Universidade Federal de Santa Catarina, 103p. Florianópolis, 2000.
- [35] SOUSA, A. R. **Garantia da Confiabilidade Metrológica na Medição por Coordenadas.** Apostila de curso da Fundação CERTI. Florianópolis, 2001.
- [36] SOUSA, A. R. **Padrões corporificados e a tecnologia de medição por coordenadas inovando a qualificação geométrica de centros de usinagem.** Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 204p. Florianópolis, 2000.
- [37] BÖSSER, F. **Vertrauen in die 3D-Koordinaten-Meßtechnik.** VDI Berichte: 1258, Koordinatenmesstechnik: sicher – umfassend – zukunftsweisend, p 233 – 239. Düsseldorf, 1996.

- [38] TRAPET, E. ; **The Virtual MMC concept.** Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Division for Precision Engineering. Braunschweig, 1995.
- [39] MITUTOYO **Coordinate Measuring Machine – Sales Guide.** Mitutoyo, 1989.
- [40] PFEIFER, T. **Koordinatenmeßtechnik für die Qualitätssicherung.** ISBN 3-18-401212-3. VDI Verlag, 282p. Düsseldorf, 1992.
- [41] NEUMANN, H. **CNC-Koordinatenmeßtechnik.** ISBN 3-8169-0220-0. Expert Verlag, 415p. Oberkochen, 1988.
- [42] NEUMANN, H. J. **Koordinatenmesstechnik im industriellen Einsatz – Zehn Jahre Innovation.** Verlag Moderne Industrie, 70p. Landsbrg, 2000.
- [43] KAPLAN, D.; RIESER, C. **Qualidade total na prestação de serviços.** ISBN 85-213-0892-2. Nobel, 269p. São Paulo, 1996.
- [44] GIANESI, I. G. N.; CORRÊA, H. L. **Administração estratégica de serviços: operações para a satisfação do cliente.** ISBN 85-224-1152-2. Atlas, 233p. São Paulo, 1996.
- [45] TEBOUL, J. **Gerenciando a dinâmica da qualidade.** ISBN 85-85360-11-9. Qualitymark, 292p. Rio de Janeiro, 1991.
- [46] WECKENMANN, A. ; KNAUER, M. **Causes and consequences of measurement uncertainty in production metrology.** VI IMEKO Symposium, Metrology for Quality Control in Production. Wien, p 693 – 698. 1998.

- [47] WECKENMANN, A. ; **The influence of measurement strategy on the uncertainty of MMC measurements.** Department Quality Management and Manufacturing Metrology University Erlangen-Nuremberg. Erlangen, 1998.
- [48] WECKENMANN, A. ; **Funcionalidade-orientada avaliação e amostragem** EITZERT, H. ; **estratégia em metrologia de coordenadas.** Precision GARMER, M. ; Engineering, vol 17, p 244 – 252. New York, 1995.
- WEBER, H.
- [49] KNAPP, W. **Measurement uncertainty on coordinate measuring machines.** VI IMEKO Symposium, Metrology for Quality Control in Production. Wien, p 331 – 335. 1998.
- [50] HERZOG, K. **Meß- und Tastsysteme bei Mehrkoordinaten-Meßgeräten.** Carl Zeiss. Oberkochen, 1987.
- [51] IP, W. L. R. ; **Adaptive and compensation methods in free-form surface assessment.** Proceedings Institution of Mechanical Engineers, vol 210, p 135 - 145. 1996.
- LOFTUS, M.
- [52] VDI/VDE 2627 **Meßräume – Klassifizierung und Kenngrößen Planung und Ausführung – Blatt 1.** VDI Verlag, Düsseldorf, 1998.
- [53] RICHTER, G. **Tolerancing and measuring form, location and orientation deviations.** Institut für Fertigungsmeßtechnik und Qualitätssicherung, módulo 4. Augustusburg, 1997.
- [54] PRESSEL, H. G. **Genau messen mit Koordinatenmeßgeräten: Grundlagen und Praxistips für Anwenden.** Expert

Verlag, 154p. Renningen-Malmsheim, 1997.

- [55] KNAUER, M. **Objective-oriented measurement strategies.** VI IMEKO Symposium, Metrology for Quality Control in Production. Wien, p 337 – 343. 1998.
- [56] KIM, K.I. ;
KIM, K. **A new measuring strategy for sculptured surfaces using offset surfaces.** Transactions of the ASME – Journal of Manufacturing Science and Engineering, vol 118, p 646 – 651. 1996.
- [57] LIN, Z. C. ;
HUANG, J. C. **The fixture planning of modular fixtures for measurement.** IIE Transactions 2000, vol 32, p 345 – 359.
- [58] DIETZSCH, M. **Merkmalorientiertes Messen.** VDI Berichte: 1258, Koordinatenmesstechnik: sicher – umfassend – zukunftsweisend, p 45 – 55. Düsseldorf, 1996.
- [59] NEUMANN, H. **Koordinatenmeßtechnik – Technologie und Anwendung.** ISBN 3-478-93041-3. Verlag Modern Industrie, 71p. Landsberg, 1992.
- [60] HERNLA, M. **Messabweichungen einfach abschätzen – Näherungsweise Ermittlung der Messunsicherheit von Koordinatenmessungen.** Qualität und Zuverlässigkeit, 45 Jahrgang, Heft 4. München, 2000.
- [61] INMETRO **Guia para a expressão da incerteza de medição.** ISBN 85-86768-03-0. Segunda edição Brasileira do Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement, 120p. Diretoria de Metrologia Científica e Industrial – INMETRO. Rio de Janeiro, 1998.

- [62] BECKERT, S. F. **Sistema de gerenciamento de informações em laboratório de calibração prestador de serviços: um modelo informatizado.** Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Produção). Curso de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, 110p. Florianópolis, 1997.
- [63] CERQUEIRA NETO, E. **Gerenciando a qualidade metrológica.** ISBN 85-85487-04-6. Imagem, 194p. Rio de Janeiro, 1993.
- [64] BEUREN, I. M. **Gerenciamento da informação: um recurso estratégico no processo de gestão empresarial.** ISBN 85-224-2012-2. Atlas, 104p. São Paulo, 1998.
- [65] EQUIPE GRIFO **A metodologia de análise e solução de problemas.** Editora Pioneira, 65p. São Paulo, 1997.
- [66] BLASS, A. **Processamento de Polímeros.** Editora da UFSC, 312p, 2ª. edição. Florianópolis, 1988.